



Universidad
de Alcalá

**ESTIMACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DEL
REUSO DE AGUAS DEPURADAS DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS
DE GINEBRA VALLE- COLOMBIA.**

Máster Universitario en Análisis Económico Aplicado

Presentado por:

D./D^a JORGE ENRIQUE TROCHEZ BALCAZAR

Dirigido por:

Dr./Dra. D./D^a DIEGO AZQUETA OYARZUN

Alcalá de Henares, a “24” de “septiembre” de “2020”.

Agradecimientos

“Agradezco a
Dios y a mi familia por brindarme sus constantes apoyos”

“Agradezco al
profesor Diego Azqueta por haber compartido su tiempo en la orientación de este
trabajo de investigación”

Agradezco a la
Profesora Inés Restrepo de Universidad del Valle, al grupo de investigación de
saneamiento ambiental del instituto CINARA de la Universidad del Valle, por el
apoyo dado a esta investigación desde sus inicios”

RESUMEN

El uso de aguas depuradas en riego es una opción que cada vez más toma una mayor importancia, especialmente en situaciones de déficit de recursos hídricos en épocas de sequía. Diversos investigadores afirman los múltiples beneficios que ofrecen las aguas tratadas, como, por ejemplo: recurso alternativo en agricultura, reducción en el uso de fertilizantes, además de beneficios sociales.

Mediante tres escenarios fueron identificados costes y beneficios financieros y sociales de reusar en agricultura 27,2 l/s de efluentes tratados por la EDAR de Ginebra, Valle del Cauca-Colombia. El Escenario 0 contempla una situación de vertimiento sobre el Río Cauca, el primer escenario se relaciona con el reuso que se le da al efluente por parte de Hacienda La Trinidad, el segundo escenario contempla un tratamiento terciario aplicado al efluente. En lo anterior, fueron tenidos en cuenta: marcos normativos de FAO (1985), USDA (1954), estándares de salud pública de la OMS de 2006 y normas nacionales colombianas. Los resultados dejan en evidencia beneficios económicos por más de \$ 18 millones de pesos colombianos (4278,69 euros), anuales a ACUAVALLE S.A, por concepto de no pago de tasa retributiva, y más de \$37 millones de pesos colombianos (8509,63 euros) para Hacienda La Trinidad, por una no compra de fertilizantes artificiales, así como beneficios sociales para la sociedad de Valle del Cauca y Colombia por contar con una mayor cantidad de fertilizantes y evitar un aumento en la contaminación del Río Cauca, al no ser vertidos 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST.

Palabras claves:

Aguas depuradas, Agricultura, Beneficios, Reuso, Riego.

ABSTRACT

The use of treated water for irrigation is an option that is increasingly taking on greater importance, especially in situations of deficit of water resources in times of drought. Various researchers affirm the multiple benefits that treated water offers, such as: alternative resource in agriculture, reduction in the use of fertilizers, in addition to social benefits.

Through three scenarios, the financial and social costs and benefits of reusing 27.2 l / s of effluent treaties in agriculture by the WWTP of Geneva, Valle del Cauca-Colombia, were identified. Scenario 0 contemplates a dumping situation on the Cauca River, the first scenario is related to the reuse of the effluent by Hacienda La Trinidad, the second scenario contemplates a tertiary treatment applied to the effluent. In the foregoing, the following were taken into account: normative frameworks of FAO (1985), USDA (1954), public health standards of the WHO of 2006 and Colombian national norms. The results show economic benefits of more than \$ 18 million Colombian pesos (4.278,69 euros), annually to ACUAVALLE SA, due to non-payment of the tasa retributiva and more than \$ 37 million Colombian pesos (8.509,63 euros) for Hacienda La Trinidad, for not buying artificial fertilizers, as well as social benefits for the society of Valle del Cauca and Colombia for having a greater quantity of fertilizers and avoiding an increase in the contamination of the Cauca River, as the not discharges 252 kg / day of BOD₅ and 215 kg / day of TSS.

Keywords:

Purified waters, Agriculture, Benefits, Reuse, Irrigation.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
1.INTRODUCCIÓN	6
1.1. Motivación.....	6
2.ANTECEDENTES	7
3. MARCO CONCEPTUAL.....	9
4.OBJETIVOS	12
5.MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1. Localización y descripción de la EDAR de Ginebra.....	12
5.2. Metodología de la investigación.....	17
5.DESARROLLO DEL TRABAJO/RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
6. FUTUROS TEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	45
7.CONCLUSIONES.....	46
8.BIBLIOGRAFIA	47
9.ANEXOS	52

ABREVIATURAS

EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

FAO	Food and Agriculture Organization
WHO	World Health Organization
ARD	Agua Residual Domestica
Tm	Tonelada métrica
DBO ₅	Demanda Bilógica de Oxigeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
N	Nitrógeno
P	Fósforo
K	Potasio
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Hm	Hectómetro
Desv	Desviación Estándar
CV	Coeficiente de Variación
Prom	Promedio

1.INTRODUCCIÓN

La UNESCO en 2003 estimó usos del agua por grupo de países según sus niveles de ingresos, de acuerdo a ello, un 11% del agua mundial estaba destinada al uso doméstico, un 30% al uso agrícola y un 59% al uso industrial. Del mismo modo se estima que el uso anual global de agua por parte de la industria aumente de una cantidad aproximada de 725 km³ en 1995 a unos 1.170 km³ en 2025 (UNESCO, 2003). El uso industrial representará entonces un 24% del consumo total de agua (UNESCO, 2003).

La Comisión Europea (2018) sostiene que el agua es un recurso limitado en la UE: un tercio del territorio de la UE sufre escasez de agua. Las crecientes necesidades de la población y el cambio climático harán que la disponibilidad de agua en la cantidad y con la calidad suficientes se convierta en un desafío aún mayor en el futuro en Europa.

El uso en agricultura de agua regenerada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, 2013).

Se está produciendo un cambio de paradigma desde una actitud que considera las corrientes de aguas residuales como residuos a tratar y eliminar, hasta un interés proactivo en la recuperación de agua, nutrientes y energía de estas corrientes en apoyo de una economía circular (Puchongkawarin, Gomez-Mont, Stuckey y Chachuat, 2015; Rao, Otoo, Drechsel y Hanjra, 2017, citado por Cisneros *et al.*, 2019). La razón es que, no solo el suministro de agua, sino también las recuperaciones de los recursos de las aguas residuales generadas pueden ofrecer beneficios económicos y financieros (Otoo & Drechsel, 2018 citado por Cisneros *et al.*, 2019).

Cisneros *et al.*, (2019) comentan que el potencial de recuperación de recursos de las aguas residuales municipales generadas en los sistemas de saneamiento está poco explorado ya que ni siquiera se recolectan grandes volúmenes de aguas residuales (Jiménez y Asano, 2008 citado por Cisneros *et al.* (2019)), aunque la competencia por el agua limpia, los nutrientes y la energía están aumentando, y las aguas residuales recolectadas están siendo utilizadas y sus nutrientes recuperados (Hernández-Sancho, Lamizana-Diallo, Mateo-Sagasta y Qadir, 2015, citado por Cisneros *et al.*, 2019).

1.1. Motivación

Este trabajo de investigación tiene importancia tanto en lo personal como en lo académico. A nivel personal, resulta gratificante realizar una investigación que tenga que ver con el aprovechamiento de un recurso hídrico en agricultura y que la misma, contribuya al cuidado y conservación del ambiente. Con relación a lo académico, la investigación aborda disciplinas de economía ambiental, ingeniería agrícola, por tanto, influye positivamente en la formación académica y crecimiento profesional.

La investigación contiene un análisis de costes y beneficios financieros, relacionados con actividades de reuso de aguas depuradas en agricultura. Como caso de análisis fue tenido en cuenta el reuso de aguas depuradas de la EDAR del municipio de Ginebra Valle, efectuado por un agricultor de dicho municipio, en cultivos de caña de azúcar. Por otro lugar, el presente proyecto otorga una positiva contribución a la sostenibilidad del recurso agua, ya que, al emplear aguas servidas en riego, se podría contribuir en un aumento de recursos hídricos para agricultura. A su vez, guarda una estrecha relación con el objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible –ODS hacia 2030, el cual indica: “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”.

2.ANTECEDENTES

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - EPA (1975) sostiene que la recuperación y reutilización de las aguas residuales municipales a menudo puede ser una alternativa técnica y económicamente viable a la eliminación de todo o una parte del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Haruvy (1997) realizó un análisis sobre cómo abordar las cuestiones de toma de decisiones con respecto a la eliminación de aguas residuales desde un punto de vista económico. Comparó varias opciones de recuperación y reutilización de aguas residuales, como los niveles de tratamiento y la ubicación de la reutilización, también incluyó la disposición del río, la reutilización agrícola local de aguas residuales y el transporte hacia el sur.

Asano y Kontos (1997) desarrollaron un estudio titulado: “Asesoramiento ambiental para aguas servidas y proyectos de reuso”. Los autores tuvieron en cuenta dos casos de estudio; estudio regional de recuperación de agua de Santa Bárbara y el Programa de recuperación de agua de la cuenca oeste de California – Estados Unidos. Los autores concluyen que la revisión y evaluación ambiental de un proyecto de recuperación y reutilización de aguas residuales debe ser una parte integral del proceso de planificación. Los autores comentan que los proyectos de recuperación y reutilización tienen, en general, el potencial de afectar la calidad del agua subterránea e inducir crecimiento de la población y desarrollo de la tierra. Con la mitigación adecuada y mediante el proceso de planificación, los impactos pueden evitarse o reducirse a niveles insignificantes.

Si bien la construcción de sistemas de tratamiento y reciclaje que sean capaces de manejar adecuadamente las aguas residuales, implica tanto una inversión de capital por adelantado como costos operativos continuos, es probable que el principal beneficio de tales esquemas sea el valor del agua dulce liberada para usos urbano o industrial de alto valor: esto reduciría el costo para las autoridades municipales de buscar suministros adicionales por medios más caros (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, 2010).

Akpor (2011) sostiene que los contaminantes en las aguas residuales se pueden dividir en dos grandes categorías: biológicos y químicos, siendo los principales contaminantes químicos nitrógeno, fósforo, metales pesados, detergentes, pesticidas e hidrocarburos (Akpor, 2011). La mayoría de los microorganismos transmitidos por el agua que causan enfermedades humanas vienen de desechos fecales de animales y humanos. Estos contienen una amplia variedad de virus, bacterias y protozoos que

pueden lavarse en los suministros de agua potable o recibir cuerpos de agua.

Van Dijk y Liang (2012) realizaron un análisis de costo-beneficio de los sistemas centralizados de reutilización de aguas residuales. El análisis económico se realizó desde el punto de vista de la sociedad, en el que se determinaron los beneficios y costos económicos, ambientales y sociales. Como conclusión los autores infieren que el análisis mostró que los beneficios financieros son mayores que el costo, lo que significa que los sistemas de reutilización de aguas residuales son financieramente viables.

El Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía - IFAPA (2012) sostiene que las ventajas de la reutilización son evidentes: supone un recurso disponible de caudal prácticamente constante e inagotable, que no depende de la estacionalidad de las lluvias ni de periodos de sequía, ayuda a la conservación de los recursos naturales, tanto por servir de alternativa a otras fuentes sobreexplotadas, como por reducir la descarga de vertidos de aguas depuradas, la importante carga de elementos nutrientes en estas aguas reduce los costes de fertilizantes en los cultivos que las utilizan.

Duong *et al.*, (2013) comenta que la reutilización de aguas residuales se ha vuelto cada vez más importante en la gestión de los recursos hídricos por razones ambientales y económicas. Tiene una larga historia de aplicación, principalmente en la agricultura, pero cada vez más, se están desarrollando aplicaciones industriales, domésticas y urbanas (Stander y Van Vuuren, 1969; Angelakis *et al.*, 1999; PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002; Chu *et al.*, 2004; Bixio *et al.*, 2006; Miller, 2006; Jimenez *et al.*, 2010; Wichelns *et al.*, 2011; Chew *et al.*, 2011 citado por Duong *et al.*, 2013).

Jaramillo y Tarquino (2017) comentan que, a nivel mundial, la agricultura es un importante consumidor de aguas residuales. Se cree que la búsqueda de fuentes alternativas de riego es vital para garantizar la seguridad alimentaria y preservar los cuerpos de agua naturales. El uso seguro de las aguas residuales, como fuente alternativa de riego, es una estrategia reconocida para el uso eficiente y la prevención de la contaminación del agua que está cobrando cada vez más relevancia en todo el mundo, especialmente en países que enfrentan escasez de agua.

Para Grundmann y Maab (2017) la recuperación de nutrientes y la reutilización de aguas residuales son cada vez más importantes, particularmente en situaciones cada vez más problemáticas que involucran escasez de agua y nutrientes en la agricultura.

Feinerman *et al.*, 2017 en su estudio: Implicaciones económicas de reuso agrícola de agua residual tratada en Israel: Una perspectiva estatal a largo plazo. Los autores largo plazo concluyen que la reutilización agrícola de aguas depuradas es una estrategia óptima de gestión del agua bajo escasez, principalmente como una forma económicamente efectiva de transferir agua dulce del sector agrícola al sector urbano.

Cisneros *et al.*, (2019) hicieron un estudio titulado: Potencial global y regional de aguas residuales como agua, nutrientes y energía. Los autores comentan que la demanda mundial de nitrógeno en la agricultura, abastecida a través de una gama de fertilizantes nitrogenados, para el año 2019 se mantiene a 115.5 millones de Tm. En los casos de fósforo y potasio, la demanda global de estos nutrientes es 43.8 y 33.6 millones de Tm respectivamente. Por lo tanto, el nitrógeno incrustado en las aguas

residuales puede compensar el 14.4% de la demanda global de nitrógeno como fertilizante nutriente; fósforo 6.8% y potasio 18.6%.

Hao *et al.*, (2019) desarrollaron un trabajo denominado: "Impactos ambientales de la recuperación de recursos de plantas de tratamiento de aguas residuales: " Los autores señalan que las estaciones de tratamiento de aguas residuales convencionales (EDAR) limpian las aguas residuales y minimizan la contaminación del agua; pero, al hacerlo, también contribuyen a la contaminación del aire y necesitan aportes de energía / material de entrada con emisiones asociadas. Sin embargo, la recuperación de energía (por ejemplo, digestión anaeróbica) y la recuperación de recursos (por ejemplo, reutilización de agua) nos permiten compensar los impactos ambientales adversos del tratamiento de aguas residuales (Hao *et al.*, 2019).

En Colombia, la Política Nacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, emitida en 2010, es la estrategia principal con respecto a las aguas residuales. En este sentido, la reutilización del agua residual aparece como una medida para el ahorro y el uso eficiente del recurso hídrico. La Resolución 1207 de 2014, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, considera que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico y define la reutilización del agua residual como una solución ecológica. Se puede usar un efluente para regar los cultivos, siempre que cumpla con los límites permitidos. Los cultivos reportados por las directrices en este sentido son pastos y forrajes para consumo animal, no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibra celulósica y derivados, entre otros.

3. MARCO CONCEPTUAL

Calidad fisicoquímica del agua de riego

La FAO (1985) citado por García y Tascon (2007) publicó unas guías (**Tabla 1**), en las cuales ha clasificado las aguas de riego con base al grado de restricción de uso (nulo, ligero a moderado y elevado), utilizando como criterios de calidad: la salinidad mediante conductividad eléctrica (CE), la sodicidad (Combinación de Relación de Adsorción de Sodio – RAS y CE), la toxicidad iónica específica. Del mismo modo, muestran otros problemas relacionados con el N y el HCO_3^- .

Tabla 1. Guía para la interpretación de calidad de aguas de riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera o moderada	Severo
Salinidad ¹ (afecta disponibilidad de agua para el cultivo)				
Conductividad eléctrica	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
STD o SST	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración ² (reduce infiltración; evaluar usando a la vez EC y Relación Adsorción de Sodio RAS)				
RAS = 0-3 y EC _w =		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
3-6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
6-12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
12-20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
20-40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na) ³				
Riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	>9
Riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	---
Cloro (Cl) ³				
Riego por superficie	me/l	< 4	4-10	>10
Riego por aspersión	me/l	< 3	>3	---
Boro (B) ⁴	mg/l	< 0.7	0.7-3.0	>3.0
Elementos traza		Ver Tabla 8		
Varios (afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno (NO ₃ – N) ⁵	mg/l	< 5	5-30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)				
(aspersión foliar únicamente)	me/l	< 1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Rango normal 6.5 – 8.4		

¹ EC_w significado de conductividad eléctrica, como una medida de la salinidad del agua, reportada en deciSiemens por metro a 25° C (dS/m). STD total de sólidos disueltos, reportado en mg/l. 1dS/m= 640 mg/l.

² RAS relación de adsorción de sodio. Determinado como RAS. La tasa de infiltración aumenta cuando aumenta la salinidad del agua aumenta.

³ Para la irrigación de superficie, la mayoría de cultivos de árboles y plantas boscosas son sensibles al sodio y al cloruro, usar los valores indicados. La mayoría de los cultivos anuales no son sensibles, usar la tabla de tolerancia a la salinidad en la FAO 1985.

⁴ Hay una tabla específica de tolerancia al boro. FAO 1985.

⁵ NO₃ - N representa nitrógeno de nitrato, reportado en términos de nitrógeno elemental (NH₄ - N y orgánico - N deben ser incluido cuando el agua residual está siendo evaluada).

FUENTE: FAO (1985) citado por García y Tascon (2007).

El manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1954) presenta una clasificación de aguas de riego (**Figura 1**).

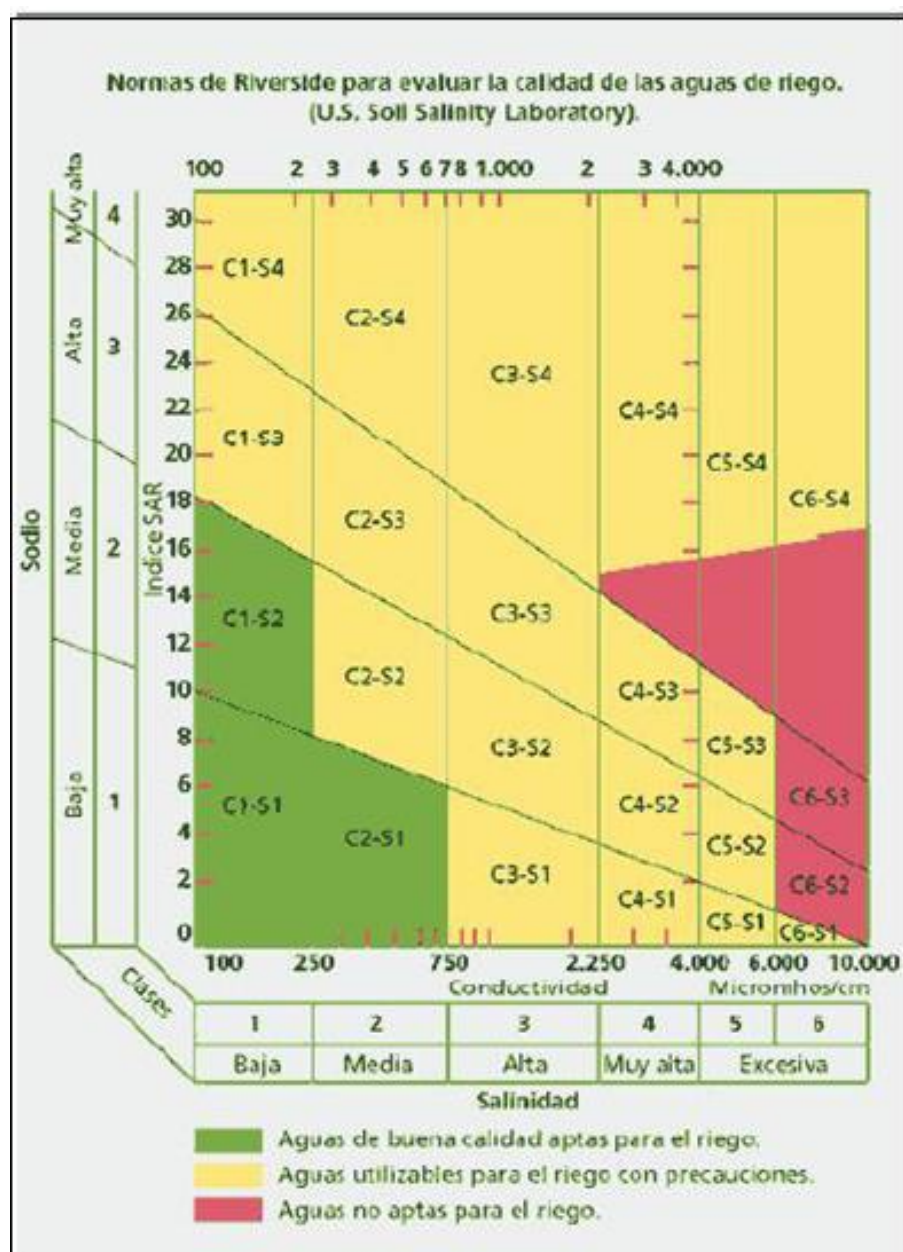


Figura 1. Clasificación del riesgo de sodicidad para las aguas de riego.
Fuente: USDA (1954) citado por García y Tascon (2007).

La anterior clasificación, divide a las aguas en seis clases con respecto a su conductividad eléctrica. Así mismo, se dividen en cuatro tipos de acuerdo a la relación de absorción de sodio (Romero, 2002, citado por Puerta, 2008).

Guías de calidad microbiológica del agua para riego de la Organización Mundial de la Salud de 2006.

En el año 2006, la Organización Mundial de la Salud (OMS, WHO por sus siglas en inglés) dio a conocer sus nuevas guías para reuso de agua residual en agricultura (García y Tascon, 2007). Ellas describen requisitos mínimos razonables, para realizar buenas prácticas y de ese modo proteger la salud de las personas que manipulen agua residual. La **Tabla 2** muestra estándares para reducción de huevos de helmintos.

Tabla 2. Estándares microbiológicos para reuso de ARD.

Escenario de exposición	Objetivos de salud (AVAD por persona por año)	Reducción log de patógenos necesitado	Numero de huevos de helmintos por litro
Irrigación sin restricciones	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Lechuga		6	$\leq 1^{b,c}$
Cebolla		7	$\leq 1^{b,e}$
Irrigación restringida	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Altamente mecanizada		3	$\leq 1^{b,e}$
Labor intensiva		4	$\leq 1^{b,e}$
Irrigación localizada (goteo)	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Cultivos altos en crecimientos		2	No hay recomendación ^{d,e}
Cultivos bajos en crecimientos		4	$\leq 1^{c,d}$

^a reducción de rotavirus. Objetivos de salud que pueden ser logrados, para riego no restringido y localizado, por una reducción de 6 - 7 unidades Log (obtenida por una combinación del tratamiento de agua residual y otras medidas de protección de salud, incluyendo una reducción de patógenos aproximadamente de 3-4 unidades Log como resultado de la tasa de mortandad natural de patógenos en condiciones debajo del campo y remoción de patógenos provenientes cultivos regados por el lavado normal domestico y enjuagado, ver sección 4.2.1 para mas detalles); para la irrigación restringida, es conseguido una reducción de patógenos de 2-3 unidades Log. (Parte 4.2.2).

^b Cuando los niños menor de 15 son expuestos, las medidas de protección de salud adicionales deben ser usada (por ejemplo. Tratamiento para ≤ 0.1 huevo por litro, equipos de protección como guantes o zapatos / botas o la quimioterapia; ver secciones 4.2.1 y 4.2.2 para detalles).

^c Una media aritmética debe ser determinada durante toda la temporada de irrigación. El valor de la media ≤ 1 de huevos por litro debe ser obtenido por lo menos el 90 % de las muestras para tener en cuenta un valor alto ocasional de muestra (por ejemplo con > 10 huevo por litro). Con algunos procesos de tratamiento de agua residual (por ejemplo. Lagunas de estabilización de desperdicios), el tiempo de retención hidráulica puede ser usado como un sustituto con el que se garantiza el acatamiento de ≤ 1 huevo por litro, como se explica en la parte 5.6.1 y caja 5.2.

^d ver sección 4.2.3 (riego localizado)

^e ningún cultivo es recogido del suelo

Fuente: WHO; 2006.

Fuente: García y Tascon (2007).

4.OBJETIVOS

Identificar costes y beneficios económicos de emplear el agua depurada de la EDAR de Ginebra-Valle, Colombia como agua de riego.

Estimar beneficios sociales, involucrados en el reuso de las aguas servidas tratadas de la cabecera urbana del municipio de Ginebra-Valle, Colombia.

5.MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización y descripción de la EDAR de Ginebra

La estación depuradora de aguas residuales de Ginebra- Valle del Cauca, se encuentra localizada a las afueras de este municipio. El sistema de tratamiento de aguas residuales posee un área de 3 hectáreas. Su ubicación, tiene las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: $3^{\circ}42'41.1''N$, Longitud: $76^{\circ}16'15.9''W$.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ginebra trata desde 1993 las aguas residuales de tipo domestico producidas por aproximadamente el 62% de la población del municipio, alrededor de 11,500 habitantes de la cabecera municipal y de dos

veredas; La Floresta y Villa Vanegas. Es administrada y operada por la empresa ACUAVALLE S.A. E.S.P. Se encuentra localizada en el corregimiento de Buenos Aires a 1,42 kilómetros de la cabecera municipal de Ginebra (Lozano, S.f). La **Figura 2** muestra una ubicación del municipio de Ginebra. El sistema trata un caudal promedio de 27,2 l/s.



Figura 2. Localización de la zona de estudio.

Fuente: Google Earth, 2020.

,la **Figura 3** muestra una localización de la EDAR dentro del municipio.

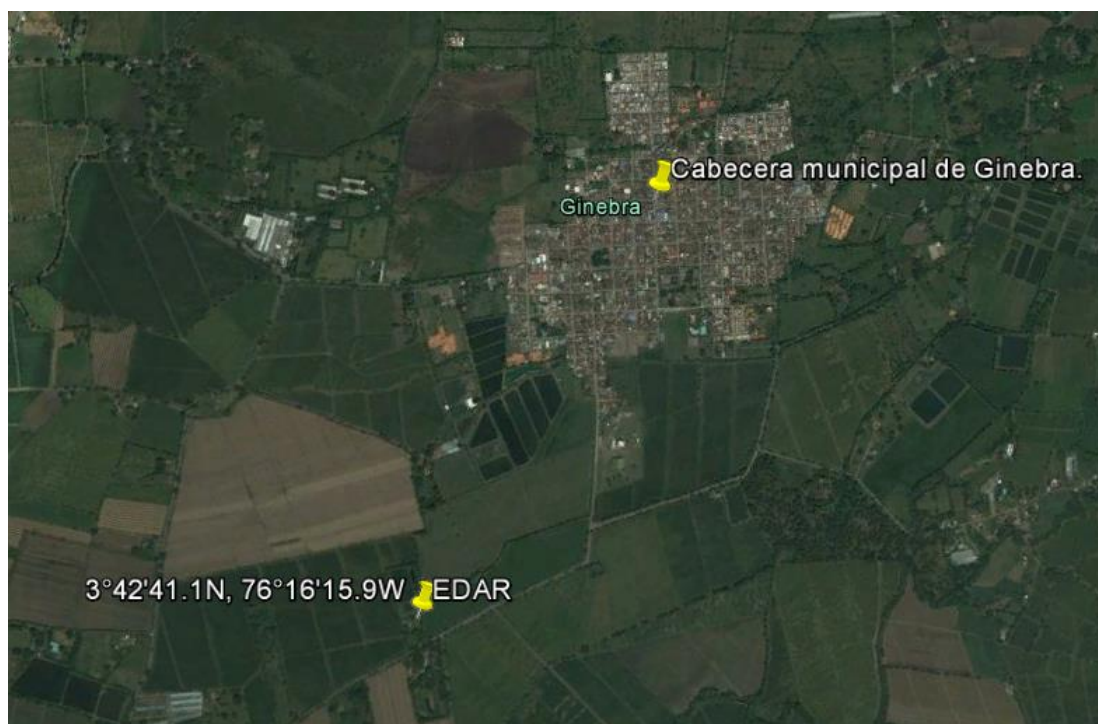


Figura 3. Localización de la EDAR dentro del municipio.

, la **Figura 4** muestra una imagen aérea de la EDAR de Ginebra.



Figura 4. Vista aérea de la EDAR de Ginebra Valle.
FUENTE: Google Maps (2017).

Descripción Ambiental

De acuerdo con Lozano (S.f), la cabecera municipal del municipio de Ginebra se localiza en el piedemonte de la cordillera central, la altura sobre el nivel del mar es de 1.100 metros y su temperatura media es de 23°C. El ecosistema de la zona donde se encuentra la EDAR es de tipo Bosque tropical seco; correspondiente a la franja de 950 - 1100 m.s.n.m. La zona climática es media Sub-húmeda, con elevación de 1000 a 2000 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y precipitación promedio anual de 1200 mm.

Composición del sistema de depuración

El sistema de tratamiento de aguas depuradas de Ginebra posee las siguientes etapas y estructuras de tratamiento.

Primer pretratamiento

En las afueras del pueblo se encuentra una estructura hidráulica, conformada por una reja de acero (**Figura 5**), encargada de retener los sólidos más gruesos.



Figura 5. Rejilla de pretratamiento.

Segundo pretratamiento

Se compone de un desarenador de concreto (1,50 m de ancho* 13 m de largo, y 1,60m de profundidad) (**Figura 6**). Se ubica en el interior de la EDAR, y en él existen dos rejas metálicas, ubicadas una en la entrada y la otra en la salida respectivamente.



Figura 6. Estructura de desarenador de concreto.

Tercer pretratamiento

Se compone de una trampa de grasas (1,30 m de ancho* 3,70m de largo, y 3m de profundidad), en dicha estructura se realiza el proceso de retención de aceites, sustancias insolubles y de mayor densidad que la del agua. Para lo anterior se emplea una cortina de metal ubicada en el fondo de la estructura, la cual, debido a la diferencia de densidades y al chocar la grasa contra sus paredes hace que se produzca un efecto de flotación de dichas sustancias.

El tratamiento secundario es de tipo biológico y se compone de las siguientes estructuras:

Laguna anaerobia

Posee dimensiones de 26 m de ancho* 54 m de largo, y 4 metros de profundidad, trata biológicamente un caudal promedio de 20 l/s, posee un periodo de retención de dos días, y con ella se obtiene una remoción de materia orgánica del 62%. De acuerdo con Gandarillas (2016) en el fondo de una laguna anaerobia tiene lugar la estabilización de materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias y en este tipo de lagunas, como consecuencia de la elevada carga orgánica y corto periodo de retención del agua residual, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. Por lo anterior, el proceso es efectuado por medio de bacterias anaerobias, las cuales trabajan bajo ausencia de oxígeno disuelto.

Laguna facultativa

Posee dimensiones de 56 m de ancho* 112 m de largo, y 1,80 metros de profundidad, se construyó para lograr mediante procesos biológicos, una remoción total de un 82% de material orgánico, es un valor cercano al exigido por la CRA (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000), el cual debe ser del 85%. Posee un periodo de retención de 6 días, y su porcentaje de remoción de material orgánico es de un 20%.

La **Figura 7** muestra una imagen de las lagunas anaerobia y facultativa.



Figura 7. Lagunas del tratamiento biológico.

La **Figura 8** muestra la salida del efluente tratado de la EDAR.



Figura 8. Salida del efluente de EDAR.

De acuerdo con información brindada por el operario de la estación depuradora de Ginebra, luego de ser tratada el agua servida, el recurso es empleado en riego por Hacienda La Trinidad, la cual se encuentra de forma aledaña a la EDAR. En caso de no realizarse el reuso, el agua depurada sería descargada al Río Cauca y la calidad de la misma no le permitiría cumplir con los parámetros mínimos de vertimientos de la resolución 0631 de 2015. El pago que tendría que hacer al gobierno nacional colombiano por la actividad de vertimientos sería de 18'669,725,69 pesos (4271,04 euros).

5.2. Metodología de la investigación

Base de datos, descripción y empleo

Se tomaron datos de análisis de laboratorio de variables fisicoquímicas y microbiológicas, datos medidos en campo y algunos registros de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, todos del año 2017, ya que no fue posible obtener datos más actualizados. De igual modo los datos de tasas de pagos por usos de aguas subterránea y superficial empleados corresponden al año 2019, ya que no fue posible obtener valores actualizados del año 2020.

Para evaluar la posibilidad de utilizar las aguas residuales tratadas para riego, se realizó un estudio cuidadoso de las principales características del efluente in situ, junto con el análisis de los suelos. El análisis de aguas permitió estimar cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales servirían para estimar uno de los costos y beneficios económico y social, el cual tendría que ver con un menor uso de fertilizantes. Se seleccionó un lote representativo de tierra cultivada en este segundo caso.

Como parte del procesamiento de los datos. Los mismos fueron estadísticamente analizados: se obtuvieron sus medidas de desviación estándar, coeficiente de variación y promedio. Posteriormente, fueron correlacionadas las calidades

agronómica y microbiológica del efluente de la EDAR de Ginebra, con los estándares de la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura - **FAO (1985)**, norma nacional colombiana para reuso en agricultura (Resolución 1207 de 2014) y directriz OMS (2006). Lo anterior fue llevado a cabo bajo el propósito de definir un cumplimiento de estándares normativos. Con lo anterior fue posible viabilizar un uso seguro del recurso hídrico en agricultura. Lo anterior fue tenido en cuenta dentro del análisis de beneficios ambientales y económicos de cada escenario planteado.

Análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas residuales

Para cumplir con los objetivos establecidos en este proyecto de investigación, se midieron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el agua depurada de la EDAR de Ginebra. Se analizaron las características agronómicas y microbiológicas del recurso, posteriormente, las mismas fueron confrontadas con diferentes regulaciones, tanto nacionales como internacionales, para evaluar su idoneidad para fines de riego. El caudal de la EDAR se estimó a partir de registros históricos de ACUAVALLE y la Corporación del Valle del Cauca (CVC).

El proceso se inició con un muestreo puntual de las aguas residuales. Se tomaron muestras de puntos los días 2, 5, 10, 15 y 25 de mayo de 2017. Cada muestra se tomó en un intervalo de tiempo desde las 8:30 a.m. a la 1:30 p.m. Los lugares seleccionados fueron los siguientes: entrada a la laguna anaerobia, salida de laguna anaerobia y salida de la laguna facultativa. Se tomó una muestra por punto y día seleccionados, para un total de 15 muestras. Se seleccionó el punto de efluente de la laguna facultativa, ya que, desde ese lugar, el agua se reutiliza para el riego.

Se midieron las siguientes características en el campo: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y temperatura.

La **Tabla 3** muestra las variables fisicoquímicas medidas en el agua depurada.

Tabla 3. Parámetros medidos en el agua de riego.

Parámetro	Unidad	Técnica de medición
CE	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Lectura directa mediante electrodos y pH-metro
N	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
Parámetro	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
K	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
Ca	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
Mg	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
Na	(mg/l)	Digestión ácida con ácido sulfúrico
SO ₄	(mg/l)	Turbidimetría
N-NO ₃	(mg/l)	Lectura Espectrofotómetro
CO ₃	(mg/l)	Titulación Volumétrica
HCO ₃	(mg/l)	Titulación Volumétrica
Dureza	(mg/l)	Titulación Volumétrica
Alcalinidad	(mg/l)	Titulación Volumétrica
DQO	(mg/l)	Reflujo
SST	(mg/l)	C.O
Coliformes fecales	UFC/100ml	Filtración

Coliformes fecales	Unidad log de	Filtración
Coliformes totales	UFC/100ml	Filtración
Coliformes totales	Unidad log de	Filtración
Huevos de Helmintos	Numero de huevos	Bailenger

Las cualidades agronómicas y microbiológicas del efluente de la EDAR de Ginebra se compararon con los estándares de las directrices de la FAO (1985), el USDA (1954) y la Organización Mundial de la Salud (2006) para determinar la calidad del agua de riego.

Evaluación de la calidad agronómica del agua de EDAR

La

Tabla 4 muestra una evaluación de la calidad agronómica del efluente bajo el estándar de FAO de (1985).

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica y evaluación agronómica del efluente.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTREO					DESV	C.V	Promedio	FAO (1985)
		1	2	3	4	5				
pH	unidad de pH	7,01	7,06	6,91	6,95	7,15	0,09	0,01	7,01	6,0 - 8,5
CE	dS/m	1,11	1,28	1,28	*	1,42	0,12	0,1	1,27	0-3
Calcio	meq/l	0,62	0,62	0,72	0,82	0,73	0,08	0,12	0,7034	0-20
Magnesio	meq/l	0,46	0,47	0,42	0,43	0,47	0,02	0,06	0,44	0-5
Sodio	meq/l	2,17	2,28	1,7	1,94	2,46	0,29	0,14	2,1	0-40
Bicarbonato	meq/l	31,3	38,2	32,6	35,6	43	4,66	0,13	36,14	0-10
Cloruro	meq/l					--				0-30
Sulfato	meq/l	0,43	0,48	0,53	0,39	0,81	0,16	0,32	0,52	0-20
Nitritos	mg NO ₂ /l					-				-
Nitratos	mg NO ₃ /l	0,07	0,07	0,07	0,03	0,09	0,02	0,34	0,06	0-10
N Amoniacal	mg NH ₃ /l					-				0-5
Fosforo Total	mg P/l	8	8,39	6,1	7,49	9,12	1,13	0,14	7,82	0-2
Fosfatos	mg PO ₄ /l					-				0-2
Nitrógeno Total	mg N/l	12,3	38,5	15,1	39	32,3	12,87	0,47	27,44	<30
Potasio Total	mg K/l	11,3	13,36	12,2	13,5	15,3	1,5	0,11	13,13	0-2
RAS	-	11,7	12,3	8,82	9,61	12,5	1,67	0,15	10,99	0-15

*dS/m: Decisiemen / metro

*DESV: Desviación Estándar

*C.V: Coeficiente de variación

El pH se encuentra dentro del rango de referencia. La conductividad eléctrica, se encuentra por encima de 0,7 dS/m (decisiemens por metro). Por tanto, de acuerdo a la clasificación de agua para riego (**Figura 1**) presenta restricción *Ligera a Moderada*, lo cual hace que el efluente no tenga restricciones debido a la salinidad. Los

contenidos de Fosforo y Potasio Totales (

Tabla 4) , se encuentran por encima de los estándares de referencia. Con base en lo anterior, se sustenta uno de los potenciales beneficios del reuso de este recurso hídrico en actividades de irrigación, es decir a través de un aporte de nutrientes al suelo.

Evaluación de calidad microbiológica.

La **Tabla 5** muestra una evaluación microbiológica del efluente bajo estándares de la OMS (2006).

Tabla 5. Evaluación de calidad microbiológica del efluente.

muestreo	Parámetro			
	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Coliformes fecales (Unidades log)	Coliformes totales (UFC/100ml)	Huevos de helmintos (Número de huevos)
1	2800.000	6,4	7200.000	0
2	1500.000	6,2	5300.000	0
3	2900.000	6,5	3200.000	0
4	13.200	4,1	420.000	0
5	820.000	5,9	12200.000	0
Desviación	1251.610,342	0,98	4437.958,99	0
C.V	0,77	0,16	0,78	0
Promedio	1606.640	5,82	5664.000	0

*UFC: Unidad formadora de colonia.

*Unidades log: unidades logarítmicas.

El contenido de huevos de helminto se encuentra dentro de los estándares de la OMS (2006). Contrario a lo anterior, el contenido de coliformes fecales es elevado, lo cual deja en evidencia un no cumplimiento del estándar. Es posible inferir que el tratamiento primario y secundario realizado al efluente no es el suficiente para que, en un caso, el agua pudiera ser vertida sobre un cuerpo de aguas.

Evaluación de norma nacional de reuso resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

La **Tabla 6** muestra una evaluación de las calidades fisicoquímicas y microbiológicas del efluente bajo norma nacional colombiana de reuso.

Tabla 6. Evaluación norma nacional de reuso 1207 de 2014.

Parámetro	Unidad	Efluente Valor promedio	Valor límite permisible	Cumple/no cumple norma nacional de reuso
Físico				
PH	Unidad de pH	7,016	6,0 - 9,0	Cumple
Conductividad	µS/cm	1270	1500	Cumple

Microbiológicos				
Coliformes termotolerantes	NMP/100MI	7,50*E(+6)*	1,0*E(+5)	No cumple
Enterococos fecales	NMP/100MI	---	1,0*E(+2)	
Helminthos parásitos humanos	Huevos y larvas/L	0	1	Cumple
Protozoos parásitos humano	Quistes/L	---	1	
Salmonella	NMP/100MI	---	1	
Químicos		---		
Fenoles totales	mg/l	---	1,5	
Hidrocarburos totales	mg/l	---	1	
Iones				
Cianuro libre	mg CN/l	---	0,2	
Cloruros	mg CN/l	59,2**	300	Cumple
Fluoruros	mg F/l	---	1	
Sulfatos	mg SO4 2-/l	50,692	500	Cumple
Metales				
Aluminio	mgAl/l	---	5	
Berilio	mgBe/l	---	0,1	
Cadmio	mgCd/l	---	0,01	
Cinc	mgZn/l	---	3	
Cobalto	mgCo/l	---	0,05	
Cobre	mgCu/l	---	1	
Cromo	mgCr/l	---	0,1	
Hierro	mgFe/l	---	5	
Mercurio	mgHg/l	---	0,002	
Litio	mgHg/l	---	2,5	
Manganeso	mgMn/l	---	0,2	
Molibdeno	mgMo/l	---	0,07	
Níquel	mgNi/l	---	0,2	
Plomo	mgPb/l	---	5	
Sodio	mgNa/l	48,48166	200	Cumple
Vanadio	mgV/l	---	0,1	
Metaloides				
Arsénico	mg As/l	---	0,1	
Boro	mg B/l	---	0,4	
No metales				
Selenio	mg Se/L	---	0,02	
Otros parámetros				
Cloro total residual	mg Cl2/l	---	menor a 1,0	
Nitratos mg/l	mg/l	0,0652	5	Cumple

A pesar de que el efluente contiene parámetros fisicoquímicos que están dentro de los estándares de la FAO de 1985, no cumple los marcos normativos, tanto de la OMS de 2006, como norma nacional de reuso 1207 de 2014. Por tanto, es necesario implementar un tratamiento complementario para un uso seguro del recurso, el cual,

a su vez, permitirá que el efluente pueda ser empleado en otros tipos de cultivos. A pesar de lo señalado, actualmente se lleva a cabo el riego de cultivos bajo la calidad actual del efluente, no obstante, debido a que el riego es realizado en canales abiertos en tierra. Lo anterior permite que el regador no esté muy expuesto al contacto con el recurso hídrico a la vez que se generen problemas de deterioro en el sistema de riego empleado, al no ser muy tecnificado. Para el caso de análisis se sugiere aplicar un tratamiento de desinfección y retención de sólidos.

Evaluación de norma nacional de vertimientos (Resolución 0631 de 2015)

La estimación de este parámetro se realizó mediante una evaluación de la Resolución 0631 de 2015 (vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales) en la calidad del efluente tratado.

La **Tabla 7** muestra una matriz de evaluación de la norma ambiental de vertimientos en la calidad del efluente tratado.

Tabla 7. Evaluación de norma de vertimientos.

Parámetro	Unidad	Valor efluente EDAR Ginebra	Limite permisible Res. 0631 de 2015	Cumple / No cumple norma
Generales				
pH	Und.	7,016	6,0 - 9,0	Cumple
DQO	mg/l o ₂	188	180	No cumple
DBO ₅	mg/l o ₂	107	90	No cumple
SST	mg/l	91,4	90	No cumple
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/l	0,4*	5	Cumple
Grasas y aceites	mg/l	< 5,0*	20	Cumple
Sustancias Activas				
al Azul de Metileno (SAAM)	mg/l	2,06*	Análisis y reporte	-
Hidrocarburos Totales				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/l		Análisis y reporte	
Compuestos de Fósforo				
Ortofosfatos (P, Po ₄)	mg/l		Análisis y reporte	
Fósforo Total P	mg/l	7,82	Análisis y reporte	
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos (N-NO ₃)	mg/l		Análisis y reporte	
Nitritos (N-NO ₂)	mg/l		Análisis y reporte	
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/l	23,2*	Análisis y reporte	
Nitrógeno Total (N)	mg/l		Análisis y reporte	

*: ACUAVALLE (2017)

-: No medido

FUENTE: Construcción propia.

El ARD tratada cumple con límites permisibles de pH, Sólidos sedimentables y grasas y aceites. De forma contraria, no cumple con parámetros de Demandas Químicas y Bioquímicas de oxígeno; por lo anteriormente señalado, es posible inferir que el

tratamiento realizado al efluente no es suficiente para que el mismo pueda cumplir la normatividad ambiental vigente. En Colombia, las Empresas de Tratamiento de Aguas Depuradas, deben cumplir con la norma de vertimientos, que, de no suceder, les generaría una multa a dichas empresas. La sanción es impuesta por el gobierno nacional colombiano a través de sus Corporaciones Autónomas Regionales.

La evaluación de la calidad microbiológica del efluente (**Tabla 5**) permite afirmar que el tratamiento efectuado al recurso hídrico no es el suficiente, a la vez que el mismo requiere de un tratamiento complementario, el cual debería contener un tratamiento de remoción de sólidos suspendidos y otro sistema por cloración, el primero se encargaría de bajar el nivel de sólidos suspendidos y el segundo estaría encargado de disminuir el nivel de patógenos presentes en el agua residual. Dicho tratamiento lograría que la calidad del agua residual pueda cumplir el estándar nacional colombiano para reuso.

Suelos regados con agua de la EDAR

La **Figura 9** muestra los terrenos en donde al año 2020 se realiza la actividad de reuso para riego. Con relación a lo anterior, las suertes (parcelas) 2, 3 y 4 y de la suerte 5, los tablones 16 y son regadas con el agua depurada (**67,72 Ha**).

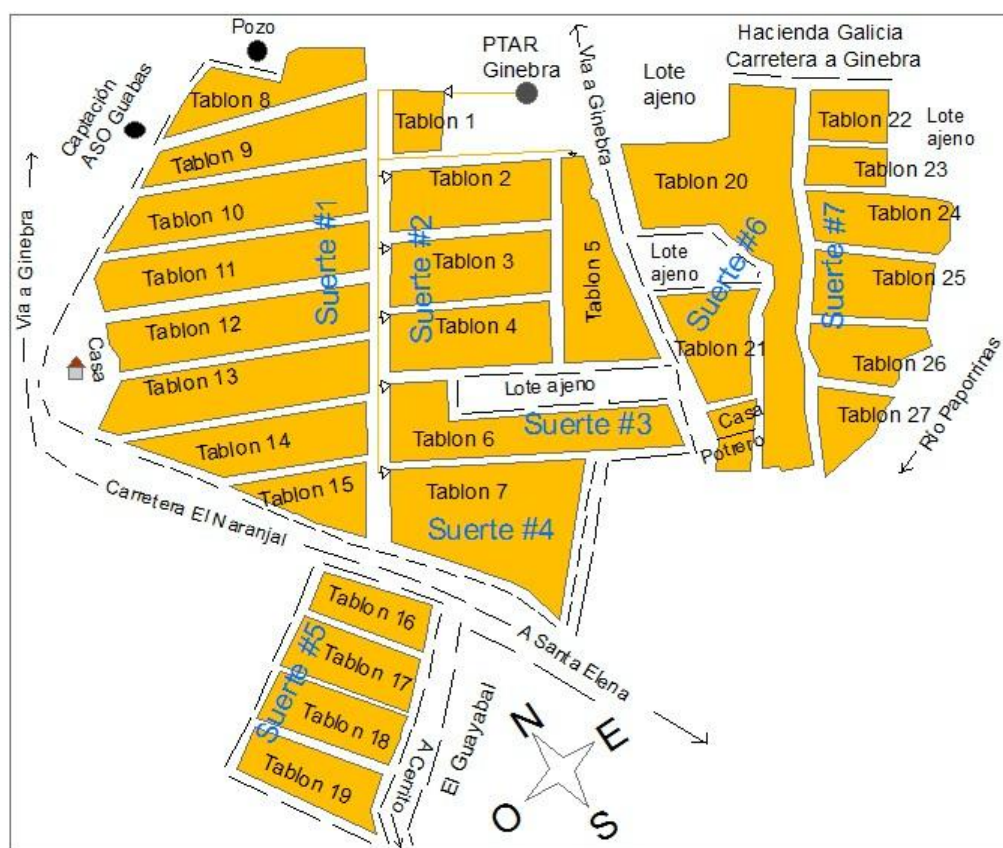


Figura 9. Esquema de terrenos de Hacienda La Trinidad.

FUENTE: Adaptado de plano de Hacienda La Trinidad.

El área corresponde a cada uno de los tablones seleccionados. Este trabajo académico empleo datos de tablones 2,3 y 4 (31,72 Ha) y tablones 16 y 17 (36 Ha).

Planteamiento de escenarios

Para el desarrollo del presente trabajo se han planteado tres escenarios. Un primer escenario o *Escenario 1* que se relaciona con la situación actual de reuso del efluente en 67,72Ha, un *Escenario 2* que se enfoca en el tratamiento terciario para el efluente y un *Escenario 0* o de referencia, en el que normalmente se produciría un vertimiento del agua de EDAR al Río Cauca.

Características del riego

El riego es realizado con el caudal tratado de EDAR de 27,2 l/s. La cantidad de área máxima que puede ser regada depende del caudal del efluente y de las necesidades hídricas del cultivo:

$$\text{Área de riego} = \text{Modulo de riego} * \text{Caudal}$$

El módulo de riego es la demanda de agua requerida por el cultivo, que para el caso de la caña de azúcar será tomada con un valor de 1 l/s por hectárea. Por lo anterior, el riego estaría restringido solo para 27 Ha, si se tiene en cuenta que el área total comprende las Suertes 2,3 y 4 (31,72 Ha) y de forma adicional es utilizado en 36 Ha de la Suerte 5 (Tablones 16 y 17), para un total de 67,72 Ha. Aunque técnicamente sucede el anterior impedimento, como una solución práctica, Hacienda La Trinidad riega por gravedad y en orden las suertes 2, 3 y 4 y posteriormente riega la suerte 5.

Costes y beneficios financieros y sociales


En los escenarios 1 y 2, fueron analizados y calculados costes y beneficios financieros y sociales, relacionados con la actividad de reuso. En los beneficios sociales se tratarán aspectos que contribuyan a que la sociedad del Valle del Cauca y Colombia tengan una mayor calidad de vida.

Escenarios

El **Cuadro 1** *Error! No se encuentra el origen de la referencia.* muestra los diferentes escenarios planteados para el presente estudio:

Cuadro 1. Escenarios planteados.

Escenario	Descripción
Escenario 0: descarga del efluente tratado sobre el Río Cauca	<p>Las aguas residuales domésticas producidas por un 62% de la población de Ginebra Valle; 11,500 habitantes, le son realizados una serie de tratamientos primario y secundario. El caudal tratado es de 27,2 l/s. En el tratamiento primario se realiza una retención de sólidos pesados como arenas, gravas, entre otros y en el tratamiento secundario se emplean lagunas de estabilización, para una remoción de materia orgánica.</p> <p>El agua depurada de la EDAR de Ginebra, luego de serle aplicados tratamientos primario y secundario, sería finalmente vertida al Río Cauca. Lo anterior impactaría negativamente al Río Cauca.</p> <p>En Colombia, una situación común es que luego de serle aplicados el tratamiento primario y posteriormente el secundario al</p>

	<p>efluente, el recurso hídrico sea vertido a un cuerpo de aguas superficial como un Río o Arroyo.</p>
Escenario 1: escenario actual	<p>Es llevado a cabo un reuso del efluente de la EDAR de Ginebra, en riego de cultivos de caña de azúcar, los terrenos se encuentran en áreas cercanas a la EDAR y pertenecen a la Hacienda La Trinidad. Se trata de analizar costes y beneficios financieros de la actual situación de reuso (31,72 Ha) más un área adicional (36 Ha), en la que se realiza el riego en dichos terrenos con el agua tratada. El método de riego empleado es riego por gravedad en canales abiertos en tierra (Figura 10) y se realiza bajo la actual calidad del agua depurada.</p>  <p>Figura 10. Riego de caña con ARD.</p>
Escenario 2:	<p>Se trata de estudiar costos y beneficios financieros y sociales relacionados con una implementación de un tratamiento terciario al agua depurada de EDAR.</p>

Costos y beneficios financieros y sociales

A continuación, se describen beneficios tanto financieros como sociales, identificados en el caso de estudio y como fueron realizadas sus respectivas estimaciones:

Ahorro en el pago de tasa retributiva

Una empresa prestadora del servicio de tratamiento de aguas residuales debe realizar un pago al gobierno nacional colombiano por vertimientos que realice a cuerpos de aguas superficiales. La norma que rige la calidad del agua para vertimientos es la Resolución 0631 de 2015. Acorde con dicha ley, la misma debe ser cumplida por una EDAR, para que puedan ser permitidas actividades de vertimientos. Un no cumplimiento de lo anterior podría generarle una multa a una empresa tratadora de aguas residuales domésticas. A partir de lo anterior, teniendo que la EDAR no cumple con una calidad de agua aceptada para ser vertida al Río Cauca, fue estimado el coste económico que debería pagar por concepto de tasa retributiva. En la estimación de dicho coste fueron empleados, la tarifa mínima nacional de Tasa Retributiva para el año 2019, el caudal de reuso (27,2 l/s), las cargas de DBO₅ y SST y tarifas económicas para dichos contaminantes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia para el año 2019.

Costo de tratamiento de agua residual

Teniendo presente que el agua de depurada no cumple con el estándar de vertimientos, fueron expuestas las características y costes de equipos que conformarían un tratamiento, el cual le permitiría a la EDAR cumplir con la normativa de vertimientos exigida por el gobierno colombiano.

Ahorro en el costo de fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales.

Para la estimación de este beneficio fue evaluado un cubrimiento de la demanda de nutrientes requeridos por los cultivos de caña de azúcar (tiempo de crecimiento de 12 meses, como ciclo de cultivo) por parte del agua tratada de EDAR. En lo anterior, fueron calculadas las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K, respectivamente) que estarían presentes en un volumen de agua y que bajo un supuesto sería aplicado al área efectiva de riego (**67,72 Ha**). Mediante un plan de fertilización fueron calculados los requerimientos de nutrientes de los cultivos de caña de azúcar de los terrenos. Finalmente fueron correlacionadas la oferta de nutrientes del agua de EDAR y los requerimientos del cultivo, para ver la potencialidad de reuso del efluente. La valoración económica de las cargas de N, P y K fue realizada empleando valores económicos de fertilizantes artificiales, reportados por el DANE en el año 2020.

A continuación, se describen procesos realizados para el cálculo de algunos parámetros involucrados en la estimación del presente beneficio financiero:

En primer lugar, cada uno de los volúmenes de agua fueron estimados mediante una lámina de agua y el área sembrada. El primer parámetro correspondería a la demanda de agua que consume el cultivo de caña de azúcar la cual es medida en metros (m), durante un ciclo de desarrollo de 12 meses, el área sembrada es el área del cultivo de caña de azúcar (m²). El volumen el cual es medido en m³ de agua, se obtiene como un producto de los dos anteriores parámetros.

, para este estudio, la lámina de agua corresponde al consumo total de agua de un cultivo de caña de azúcar por ciclo de cultivo de un año. Se emplearon valores encontrados por CENICAÑA de evapotranspiración para un cultivo de caña de azúcar en el valle geográfico del Río Cauca. Lo anterior se adoptó, debido a que no fue posible encontrar información de registros históricos mensuales multianuales de

evaporaciones, de una estación meteorológica cercana al desarrollo del proyecto de investigación. El valor de lámina calculado fue de 810 mm, el cual es inferior, si se lo compara con 1000 y 1250 mm, rango en el que se encuentran los requerimientos de agua de la caña de azúcar en el valle geográfico del Río Cauca por ciclo de cultivo de 13 meses (tomado de CENICAÑA S.f) no obstante el cultivo puede compensar el agua faltante por precipitaciones.

Debido a que se presentan pérdidas de aplicación en el riego, fueron estimados volúmenes brutos, los cuales consideran dichas pérdidas. Para ello fueron considerada una eficiencia de conducción de un 30% (medida propuesta por CENICAÑA, S.f) y los volúmenes de agua (m^3). El cálculo de un volumen bruto (medido en m^3), se obtiene al realizar una diferencia matemática entre el volumen y la eficiencia de conducción.

Cuantificación de cantidades de N, P, K, aplicados

Las estimaciones de las cantidades de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (k), aplicados fueron realizadas teniendo en cuenta el coste económico que tendría que pagar el agricultor por dichos fertilizantes, como convencionales y durante el ciclo del cultivo de la caña de azúcar (1 año). Las cantidades de N, P y K aplicadas, fueron calculadas teniendo en cuenta la concentración de un nutriente (N, P, K, medido en Kg/m^3) y el volumen bruto de agua aplicado (m^3). La cantidad del fertilizante aplicado Medido en Kg, se obtiene a partir del producto de los anteriores.

Ahorro en el costo de extracción de agua subterránea.

Teniendo en cuenta una demanda de agua de los cultivos de caña de azúcar y la aplicación de agua sobre los cultivos, por precipitación, y que dicha aplicación no alcanzaría a cubrir la demanda de agua de los cultivos, se hace necesario cubrir la totalidad de la demanda de agua, por ejemplo, mediante agua subterránea.

La estimación del beneficio financiero obtenido por una no extracción de agua subterránea, se realizó, empleando datos de un equipo de bombeo de Hacienda La trinidad, la tarifa por uso de agua subterránea al año 2019 para Ginebra (8,8 \$/ m^3 (CVC, 2019), el volumen bruto a ser aplicado sobre el área efectiva de riego y datos de equipo de bombeo de Hacienda La Trinidad (coordenadas de ubicación: 3°42'57,77 " N 76 °16' 20,60"O).

El equipo de bombeo es de marca U.S Electrical Motors, posee una bomba centrífuga con eje vertical y un motor eléctrico con potencia de 75 HP (55,95 kW). El caudal de la maquina es de 180 l/s. La **Figura 11** muestra el equipo de bombeo.



Figura 11. Componentes de equipo de bombeo.
FUENTE: ADAPTADO DE HACIENDA LA TRINIDAD.

Para el cálculo del volumen de agua neto a ser extraído, fue tenido en cuenta el agua aplicada por precipitación sobre los cultivos, para lo cual fue calculado su respectivo volumen. Para lo anterior y como ya fue comentado, la zona climática donde se encuentran los cultivos de caña de azúcar, tiene una precipitación promedio anual de **1200mm**. El volumen de agua obtenido por precipitación (m^3) fue calculado a partir del producto entre la lámina de agua que cae por precipitación (m) y el área de riego (m^2).

Volumen neto de bombeo

El volumen neto a ser bombeado, es obtenido a partir de una diferencia matemática entre el volumen bruto de agua (m^3) y el volumen de agua obtenido por precipitación (m^3).

Tiempo de bombeo

El cálculo del tiempo de bombeo (horas), fue realizado a partir de una división entre, el volumen neto a ser bombeado (m^3) y el caudal de la bomba (m^3 /hora).

Costo económico del bombeo de agua

El cálculo del costo económico por bombeo de agua fue logrado, al realizar un producto entre la tarifa de energía eléctrica de la zona (\$/Kwh) y el consumo de energía eléctrica hecho por la bomba (Kw).

Para el desarrollo de este ejercicio fue empleado un valor de tarifa de la empresa distribuidora de energía eléctrica – EPSA del año 2019, la cual tiene un valor de: 548,85 \$/Kw*h.

Ahorro en pago de tasa por uso de agua superficial (TUA)

Una no realización de la actividad de reuso del efluente tratado, haría que por ejemplo tenga que ser extraída agua de una superficie hídrica, para poder regar los cultivos de caña. Para el caso de estudio, dicha fuente correspondería al Río Guabas.

En la estimación de este beneficio fueron empleados el caudal de reuso (27,2 l/s) y la tasa por uso de agua superficial para la zona al año 2019 (\$4,88/m³), también fue empleado el costo de un pago trimestral a ASOGUABAS (Asociación de Usuarios del Río Guabas; el cobro del año 2019 es de \$13.250 pesos/litro).

, los presentados con anterioridad son beneficios financieros, a continuación, se describen beneficios sociales.

Beneficios sociales

Fueron estimados bienes y servicios que estarían a disposición de la sociedad colombiana, gracias a la actividad de reuso. La actividad del uso para riego del efluente permite que la sociedad del Valle del Cauca y en general Colombia, tengan un Río Cauca con una mayor calidad de agua.

Fueron estimados los bienes y servicios que estaría a disposición de la sociedad, gracias a la actividad de reuso. Lo anterior para los escenarios 1 y 2. Por ejemplo, fueron encontrados beneficios como mayor cantidad de fertilizantes, mayor calidad del agua, mayor oferta de cultivos para ser regados, eficiencia en el riego. Entre otros. Los anteriores hacen que la sociedad del Valle del Cauca y en general Colombia, puedan contar con un Río Cauca con una mayor calidad de agua y por tanto mejorar la calidad de vida de los colombianos.

Por otro lugar, se plantea calcular La Fracción de Especies Potencialmente Desaparecida – **FPD**, estudiada por de Bruyn *et al.*, (2010), bajo el propósito de dar una valoración económica de la biodiversidad que podría estar albergada en el área regada., compara la cantidad de especies que deberían estar presentes en un ecosistema dado, con la cantidad real que alberga. Luego, para darle un valor económico a la biodiversidad, este enfoque calcula los costos asociados a la forma menos costosa de mejorar este factor: “los costos mínimos de restauración de mejorar un terreno con un número menor de especies diferentes a uno con un número más alto.

Valor Presente Neto de Beneficios

Como complemento del análisis efectuado, fue realizada una estimación del valor presente neto, de cada uno de los beneficios estimados.

5.DESARROLLO DEL TRABAJO/RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Escenarios

A continuación, se presenta un análisis de los escenarios planteados en el **Cuadro 1**:

Escenario 0: Vertimiento del agua depurada de la EDAR de Ginebra al Río Cauca.

El escenario cero se presenta como el escenario de referencia para comparar los costes y beneficios de los dos escenarios propuestos: la situación actual ampliada (**Escenario 1**) y el **Escenario 2**. Al respecto, como fue comentado, la acción de verter el agua es común y llevada a

cabo por las empresas depuradoras de agua en Colombia. El vertimiento de las aguas tratadas por la EDAR de Ginebra sería realizado de manera posterior al tratamiento de las mismas, el caudal tratado de 27,2 l/s, sería descargado sobre el Río Cauca en su totalidad, lo cual generaría impactos negativos sobre el ambiente y afectaría la calidad de vida de la sociedad del Valle del Cauca y de Colombia.

Costes y beneficios económicos y sociales del Escenario 1: Reuso del efluente por parte de Hacienda La Trinidad (67,72Ha).

Este escenario contempla la actual situación de reuso del efluente tratado en 31,72 Ha cultivadas con caña de azúcar más un área adicional de 36 Ha. Los cultivos pertenecen al agricultor de Hacienda La Trinidad y el riego es realizado bajo la actual calidad del agua tratada de la EDAR. El recurso hídrico es transportado desde la salida de EDAR hasta cada uno de los tablones, a través de canales abiertos en tierra, el total del área regada es de 67,72 Ha. Los siguientes son los costes y beneficios financieros identificados:

Ahorro por no pago de tasa retributiva

De acuerdo con el marco normativo ambiental colombiano, las empresas prestadoras del servicio de tratamiento de aguas residuales domésticas, las cuales empleen cuerpos hídricos como receptores de vertimientos, deberán realizar un pago por vertimiento o descarga realizada sobre dicho recurso. Por lo anteriormente dicho, la empresa ACUAVALLE S.A, tendría que realizar un pago de tasa retributiva a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el valor de la tasa retributiva para el año 2019 es de 148,99 \$/kg para DBO y 63,71 \$/kg para SST. La **Tabla 8** muestra una estimación económica de lo anterior; en ello, han sido empleadas las características fisicoquímicas del efluente tratado:

Tabla 8. Estimación de tasa retributiva.

Parámetro	Concentración		Carga		Tasa Retributiva (\$)
	mg/l	Kg/m ³	Kg/día	Kg/año	
DBO*	107	0,107	251,46	91.782,9	13.674.734,27
SST	91,4	0,0914	214,8	78.402	4.994.991,42
Total				170184,9	18.669.725,69

*ACUAVALLE S.A 2017.

El valor de Tasa Retributiva es de alrededor de \$18.669.725,69 pesos anuales (4.271,04 euros). Dicha cifra representa un ahorro económico para ACUAVALLE S.A, gracias a la actividad de reuso y para la sociedad, ya que la realización de un no pago de la tasa retributiva por parte de la EDAR (18.669.725,69 pesos colombianos; 4.271,04 euros) en principio, contribuye con una conservación de la calidad del Río Cauca, y no tendría que ser invertido el monto económico para la recuperación de dicho afluente.

Ahorro por menor uso de fertilizantes

La **Tabla 9** muestra una estimación de cantidades de elementos N, P y K, los cuales serían aplicados con una eficiencia de conducción de un 30% a cada tablón a través de volúmenes de agua, durante un ciclo de cultivo de caña de azúcar:

Tabla 9. Estimación de cantidades de N, P, K del efluente.

Tablón	Área (m ²)	Volumen agua (m ³)	Volumen bruto de agua (m ³)	Fertilizantes presentes en ARD de EDAR (kg)		
				N	P	K
1	3.800	3.078	10.260,00	281.534,40	80.233,20	134.713,80
2	39.700	32.157	107.190,00	2.941.293,60	838.225,80	1.407.404,70
3	40.100	32.481	108.270,00	2.970.928,80	846.671,40	1.421.585,10
4	41.500	33.615	112.050,00	3.074.652,00	876.231,00	1.471.216,50
5	48.800	39.528	131.760,00	3.615.494,40	1.030.363,20	1.730.008,80
6	73.600	59.616	198.720,00	5.452.876,80	1.553.990,40	2.609.193,60
7	62.100	50.301	167.670,00	4.600.864,80	1.311.179,40	2.201.507,10
Total:		250.776	835.920,00	22.937.644,80	6.536.894,40	10.975.629,60

La **Tabla 10** muestra cantidades de nutrientes N, P y K disponibles en cada tablón o área agrícola en donde se hace el reuso y la **Tabla 11** muestra el plan de fertilización de los suelos analizados:

Tabla 10. Oferta de nutrientes del suelo.

Tablón	Parámetros			
	M.O (%)	N (g/kg)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)
1	4,05	1600	39,09	0,24
2	4,01	11800	23,36	0,23
3	3,895	1800	22,84	0,2301
4	3,239	1900	29,62	0,2211
5	3,072	1400	26,69	0,2038
6	3,621	1100	30,31	0,1863
7	3,22	1500	24,66	0,2346
Desv	0,41	3883,05	5,65	0,019
CV	0,11	1,28	0,2	0,08
Prom	3,58	3014,29	28,08	0,22

Bajo estándares de Quintero (1995) los suelos analizados (**Tabla 10**) muestran que el contenido de fósforo es elevado; por consiguiente, los suelos estudiados no requerirán una aplicación de este elemento. Esta característica fue tomada en cuenta en los cálculos de nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales serían aplicados en cada tablón. La **Tabla 11** muestra un plan de fertilización para cada terreno.

Tabla 11. Plan de fertilización.

Tablón	Req. cultivo (Kg/Ha)			Área (Hectárea)	Cantidad a aplicar (kg)		
	N	P	K		N	P	K
1	100	0	83	0,38	38	0	31,54

2	100	0	83	3,97	397	0	329,51
3	100	0	83	4,01	401	0	332,83
4	100	0	83	4,15	415	0	344,45
5	100	0	83	4,88	488	0	405,04
6	100	0	83	7,36	736	0	610,88
7	100	0	83	6,21	621	0	515,43
Total					3096	0	2569,68

La **Tabla 12** muestra cantidades de fertilizantes para cada área efectiva. Los fertilizantes más utilizados en el medio local son, UREA (contiene un 46% de N), Cloruro de Potasio - KCl (contiene un 60% de K). Según el Departamento Nacional de Estadística (DANE, 2019), el precio de 50kg de UREA es de \$ 79.800 pesos, y el de KCl es de \$76.967 pesos.

Tabla 12. Plan de fertilización cantidades específicas para cada área.

Tablón	Área	Úrea	Úrea	Cloruro de	Cloruro de
		(kg)	Bultos	potasio (kg)	potasio,
	(Ha)	46% de N	de 50 kg	60% de K20	Bultos
					de 50kg
1	0,38	82,6	1,652	52,56	1,0512
2	3,97	863,04	17,2608	549,18	10,9836
3	4,01	871,73	17,4346	554,71	11,0942
4	4,15	902,17	18,0434	574,08	11,4816
5	4,88	1060,86	21,2172	675,06	13,5012
6	7,36	1600	32	1018,13	20,3626
7	6,21	1350	27	859,05	17,181
Total		6730,4	134,608	4282,8	85,656
Total aprox.			135		86
Costo					
Total (\$)			10´773.000		6´619.162

*: El suelo no requiere aplicación; posee altos contenidos de este nutriente.

Según Moscoso (1991), citado por Valencia (1998) y García y Tascon (2007), no se tienen referencias de que la productividad mejore por el uso de las aguas residuales, pero sí que estas sustituyen por completo la fertilización artificial. En este sentido, la **Tabla 9** evidencia una alta potencialidad de reutilización del efluente de la EDAR de Ginebra en agricultura, ya que la oferta de nutrientes del efluente es mayor que los requerimientos nutricionales del cultivo de caña de azúcar, en los suelos analizados (**Tabla 12**). El coste de fertilizantes para las 31,72Ha es de \$17´392.162 pesos. Debido a que no fue posible realizar un análisis de suelos de los tablones 16 y 17 (36 Ha), se hizo una estimación de los costes involucrados en dicha área mediante interpolación. A partir de lo anterior y teniendo en cuenta los valores registrados en la **Tabla 12**, se tiene que el coste por uso de fertilizantes para el área faltante, rondaría los \$19´738.897,6 pesos, por consiguiente, el empleo del agua de EDAR en 67,72 Ha,

puede representar un ahorro por compra de fertilizantes para el agricultor de Hacienda La Trinidad por un valor de \$ 37´131.059,6 pesos (8.533,30 euros). Por otro parte, también se genera un beneficio para la sociedad del Valle del Cauca y Colombia, ya que las anteriores podrían contar con más fertilizantes para ser empleados en la producción de cultivos agrícolas.

Ahorro por bombeo de aguas:

De acuerdo con el valor de la pluviosidad de la zona de estudio (1200mm =1,2m) y el área (67,72Ha), fue calculado el volumen de agua que regaría a los cultivos mediante precipitación; siendo 812.640 m³ el valor calculado (**Tabla 13**).

La **Tabla 13** muestra los parámetros empleados en el cálculo del volumen neto del agua de bombeo.

Tabla 13. Datos para volumen neto de bombeo de agua.

Parámetro	Valor
Volumen bruto de agua	835.920m ³
Volumen de agua por precipitación	812.640m ³
Volumen neto de bombeo	23.280m ³

, la cantidad neta de agua a ser bombeada es de **23.280m³**.

El caudal de bombeo del equipo, es de 180 l/s (648 m³/hora), y el volumen de agua neto requerido (23.280 m³). Con los anteriores parámetros se puede estimar un tiempo de bombeo de 36 horas. Se empleó un coste de tasa por uso de agua subterránea del año 2019, que de acuerdo con CVC (2019) el valor para Ginebra al año 2019 es de \$8,8/m³. La **Tabla 14** muestra datos empleados en la estimación del costo económico de bombeo, del mismo modo, la **Tabla 15** muestra datos para el cálculo del costo económico de tasa por uso de agua subterránea.

Tabla 14. Costo de bombeo.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen	m ³	23.280
Potencia del motor	KW	55,95
Tiempo de bombeo	h	36
Tarifa de consumo eléctrico	(\$/KW*h)	548,85*
Total (\$)		1´105.493,67

*EPSA (2019).

Tabla 15. Tasa de agua subterránea.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen neto de bombeo	m ³	23.280 m ³
Tasa por uso de agua subterránea	\$/m ³	8,8

El coste de \$1'105.493,67 (251,33 euros) (**Tabla 14**), representa el coste de energía eléctrica consumida por la bomba. El costo de tasa por uso de agua subterránea es de \$204.864 (Tabla 15) (46,58 euros). Por lo anterior, el costo total de extracción de agua subterránea, sería de \$1'310357,67 pesos colombianos (297,91 euros), el cual se muestra como un beneficio para el agricultor, y que como se verá más adelante, también representa un beneficio para la sociedad del Valle del Cauca.

Ahorro por uso de agua superficial

A partir del caudal de reuso de 27,2 l/s (2.350, 08 m³/día), la tasa por uso de agua superficial para Ginebra, al año 2019 (\$4,88/m³) y un pago trimestral a ASOGUABAS (Asociación de Usuarios del Rio Guabas, el cobro sería de \$13.250 \$/litro y serían asignados 28 litros/s a la Hacienda La Trinidad). El volumen captado de una fuente hídrica sería de 857.779,2 m³ (teniendo en cuenta 365 días al año y 24 horas /día; operación realizada de acuerdo a procedimiento hecho por la CVC). La **Tabla 16** muestra un resumen de los costos asociados a la tasa por uso de agua, para un periodo de un año.

Tabla 16. Resumen de Tasa por uso de Agua.

Concepto	Valor (\$)
Cobro TUA	4'185.962,496
Cobro ASOGuabas	1.484.000
Total	5'669.962,496

El valor total es de \$ 5'669.962,496 pesos colombianos (1.297,1 euros). Dicho coste representa un ahorro económico para el agricultor de Hacienda La Trinidad, al no emplear agua de una fuente hídrica para fines agrícolas en 67,72 Ha. Cabe mencionar que dicho beneficio, también es de tipo social, ya que el Valle del Cauca y Colombia contarán con una mayor cantidad de agua.

Ahorro por uso de agua subterránea

De acuerdo a lo visto con anterioridad, no se realizaría una extracción de 23.280m³ de agua subterránea al año (**Tabla 15**) para riego. De acuerdo con un estudio de la CVC del año 2017, denominado "Evaluación Regional del Agua Valle del Cauca-2017", la oferta actual de agua subterránea que tiene el Valle del Cauca es de 10.129 millones de metros cúbicos de agua. Con base en una publicación de PROCANA del año 2018, el volumen de agua extraída del sistema acuífero en el año 2017 fue de 550 millones de metros cúbicos aproximadamente, que representan el 16 % de la recarga total anual a pesar de que el volumen señalado y las cifras indicadas no muestran sobreexplotación al sistema de acuíferos del Valle del Cauca, sí que beneficia a la sociedad del Valle del Cauca y Colombia en general, al no verse alterado el ciclo hidrológico del agua.

Conservación de aguas superficiales

La actividad de reuso del efluente evita que sean extraídos anualmente **857.779,2 m³** de agua dulce. La CVC en su estudio de 2017, titulado: "Evaluación Regional del Agua Valle del Cauca-2017" indica que el caudal concesionado del agua superficial en las cuencas del Valle

del Cauca, asciende a 226 m³/s, de los cuales el 64% es para el sector agrícola; equivalente a 145 m³/s (4.572,72 Hm³/año). Por lo anterior, se infiere que la sociedad del Valle del Cauca y Colombia se verían beneficiados al evitar una captación de agua, que para el caso de estudio sería del Río Guabas.

Conservación del ambiente

El uso para riego del efluente, evita que la carga contaminante generada por la EDAR sea vertida sobre el Río Cauca. La **Tabla 17** muestra una estimación de vertimientos al río Cauca..

Tabla 17. Estimación de descargas de EDAR Ginebra Valle.

Parámetro	Concentración		Carga		
	mg/l	Kg/m3	Kg/día	Kg/año	Ton/año
DQO	188	0,188	441,81	161261	161,26
DBO	107	0,107	251,46	91782,9	91,78
SST	91,4	0,0914	214,8	78402	78,4
Ntotal	27,43	0,0274	64,39	23502,4	23,5
Ptotal	7,82	0,0078	18,33	6690,45	6,69
Total				361.638	361,63

Diariamente serían vertidos alrededor de 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST (**Tabla 17**). Alfaro (2015) estima que el sistema hídrico en Colombia, recibe cerca de 1.500 toneladas de DBO₅ por día, por cuenta de las aguas servidas de las ciudades.

Con relación a lo anterior, Garrido *et al.*, (2010) comentan que la reutilización de aguas residuales se perfila como una alternativa de gran futuro, ya que aumenta la oferta de recursos hídricos y reduce el problema de la contaminación. En virtud de ello, la actividad de reuso para riego de ARD tratada de la EDAR de Ginebra, contribuye con la conservación del Río Cauca, y sus ecosistemas acuáticos, a la vez que disminuye problemas de salud pública. Por otro lugar, el efluente tratado (27,2 l/s: 2.332,8 m³/día), permite estimar que anualmente serían vertidos 851.472 m³ de aguas depuradas al Río Cauca. De igual modo, la CVC (2017) sostiene que anualmente son vertidas 26.385 Ton DBO₅/año sobre el Río Cauca.

El reuso evita que sean descargados cerca de 362 Ton/año de carga contaminante (**Tabla 17**), sobre el Río Cauca, y que aumente su contaminación. Lo señalado, muestra que el empleo de aguas depuradas en agricultura contribuye a conservar la flora y fauna del municipio de Ginebra, del Valle del Cauca y de Colombia.

Costes y beneficios económicos y sociales del Escenario 2:

Este escenario se encuentra relacionado con el tratamiento complementario para el efluente. A continuación, se presentan los costos involucrados en dicho escenario.

Costos de equipos y tratamiento terciario:

El tratamiento terciario se compone de un equipo de cloración (desinfección) y un

equipo de filtración. Los costes están dados en pesos colombianos por un tiempo de vida útil de 10 años (**Tabla 18**). Posteriormente se mostrará el valor del coste de los equipos amortizado a un año:

Tabla 18. Costes de equipos para el tratamiento.	
Tratamiento	Costo de equipo (\$)
Desinfección por cloración	1,5 millones de pesos
Filtración	55 millones de pesos
Total	56,5 millones de pesos

Los equipos tienen un coste de \$56,5 millones de pesos colombianos (12.447,53 euros) y una vida útil de 10 años. Teniendo en cuenta que el valor de los equipos durante un año es el coste de amortización de los equipos de 10 años, calculado para un año y un estudio hecho por Garnica *et al.*, (2017) se tomó una tasa de depreciación para los equipos de un 10%, por consiguiente, De acuerdo a los cálculos realizados el valor de los equipos sería de 4'237.500 pesos/año (973,84 euros). Los costes de los equipos fueron consultados en la empresa *WIS Servicios Integrales para el Agua* de la ciudad de Cali. Es posible mencionar que representa un coste para la sociedad, ya que el pago que realizaría ACUAVALLE S.A, sería cobrado a los suscriptores del servicio de tratamiento de aguas residuales de Ginebra-Valle.

La **Figura 12** muestra una imagen del equipo de cloración:



Figura 12. Equipo de cloración.

, la **Figura 13** muestra una imagen del equipo de filtración.



Figura 13. Equipo de filtración.

Coste por consumo de energía eléctrica

En el cálculo del coste por consumo de energía eléctrica fue tenido en cuenta una operación continua de los equipos, ya que la EDAR opera de dicho modo. Teniendo cuenta lo afirmado, el tiempo de operación de los equipos es de 1 año (8760 horas). El equipo de filtración opera sin energía eléctrica. El equipo a emplear, contendría una bomba de marca Milton Roy serie MRA, con una potencia de 0,25Kw (1/4 de CV). De igual modo, fue tenido en cuenta la tarifa de energía eléctrica local. El coste de mantenimiento es cero.

La **Tabla 19** muestra el coste económico del consumo de energía eléctrica del equipo de cloración:

Tabla 19. Coste de energía eléctrica.		
Parámetro	Unidad	Valor
Potencia del motor	KW	0,25
Tiempo de bombeo	h	8760
Tarifa de consumo eléctrico (2019)	(\$/KW*h)	548,85
Total (\$)		1'201.981.5

El coste de energía eléctrica consumida por el equipo de cloración es de \$ 1'201.981.5 pesos (276,23 euros). Dicho valor económico debería ser pagado por la empresa ACUAVALLE SA, y como fue comentado con anterioridad, al igual que el coste de equipos para el tratamiento, también sería un coste social para la sociedad del municipio de Ginebra Valle.

Coste anual del sistema de tratamiento terciario

Por lo anterior, la EDAR tendría que pagar 5´439.481,5 pesos (1.250,08 euros; se incluyen coste de energía eléctrica del equipo de cloración, más valor amortizado a un año de los equipos que componen el tratamiento).

Beneficios sociales

El presente escenario guarda relación con el escenario 1, ya que se trataría de una mejora de la calidad del agua del efluente mediante un tratamiento terciario, por tanto, serán tenidos en cuenta los beneficios sociales del escenario 1.

Como ya fue comentado, los beneficios financieros del escenario 1 son los siguientes:

Ahorro por no pago de tasa retributiva

El valor de Tasa Retributiva es de alrededor de **\$18.669.725,69 pesos** anuales (4.271,04 euros). Dicha cifra representa un ahorro económico para ACUAVALLE S.A, gracias a la actividad de reuso y para la sociedad del Valle del Cauca, ya que la realización de un no pago de la tasa retributiva por parte de la EDAR (18.669.725,69 pesos colombianos; 4.271,04 euros) en principio, contribuye con una conservación de la calidad del Río Cauca, y no se tendría que invertir dicha cantidad para la recuperación de dicho afluente.

Ahorro por menor uso de fertilizantes

A partir de lo ya expuesto y teniendo en cuenta que el empleo del agua de EDAR en 67,72 Ha, puede representar un ahorro por compra de fertilizantes para el agricultor de Hacienda La Trinidad y para la sociedad del Valle del Cauca, por un valor de \$ 37´131.059,6 pesos (8.533,30 euros). Lo anterior se debe a que la sociedad del Valle del Cauca y Colombia, podrían contar con más fertilizantes para ser empleados en la producción de cultivos agrícolas.

Ahorro por bombeo de aguas:

De acuerdo con lo estimado el coste de \$1´105.493,67 (251,33 euros) (**Tabla 14**), representa el coste de energía eléctrica consumida por la bomba. El costo de tasa por uso de agua subterránea es de \$204.864 (**Tabla 15**) (46,58 euros). Por lo anterior, el costo total de extracción de agua subterránea, sería de \$1´310357,67 pesos colombianos (297,91 euros), el cual se muestra como un beneficio para el agricultor y de igual modo para la sociedad del Valle del Cauca.

Ahorro por uso de agua superficial

Como fue comentado, el valor económico relacionado con el uso de agua superficial es de \$ 5´669.962,496 pesos colombianos (1.297,1 euros). Dicho coste representa un ahorro económico para el agricultor de Hacienda La Trinidad, al no emplear agua de una fuente hídrica para fines agrícolas en 67,72 Ha. Cabe mencionar que dicho beneficio, también es de tipo social, ya que el Valle del Cauca y Colombia contarán con una mayor cantidad de agua.

Ahorro por uso de agua subterránea

De acuerdo a lo visto con anterioridad, no se realizaría una extracción de 23.280m³ de agua subterránea al año (**Tabla 15**) para riego, lo cual beneficiaría al sistema de acuíferos del Valle del Cauca y a la sociedad del Valle del Cauca y Colombia en general, al no verse alterado el ciclo hidrológico del agua.

Conservación de aguas superficiales

La actividad de reuso del efluente evita que sean extraídos anualmente 857.779,2 m³ de agua dulce. Por lo anterior, se infiere que la sociedad del Valle del Cauca y Colombia se verían beneficiados al evitar una captación de agua, que para el caso de estudio sería del Río Guabas.

Conservación del ambiente

El uso para riego del efluente, evita que la carga contaminante generada por la EDAR sea vertida sobre el Río Cauca y que de acuerdo con las estimaciones realizadas, diariamente serían vertidos alrededor de 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST (**Tabla 17**), a su vez, comentar que el reuso evita que sean descargados cerca de 362 Ton/año de carga contaminante (**Tabla 17**), sobre el Río Cauca, y que aumente su contaminación. Lo señalado, muestra que el empleo de aguas depuradas en agricultura contribuye a conservar la flora y fauna del municipio de Ginebra, del Valle del Cauca y de Colombia.

, del mismo modo se incluyen los siguientes:

Mejora de la calidad del agua del Río Cauca

Se presentan beneficios ambientales positivos, al no ser vertidos 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST tratados de EDAR sobre el Río Cauca. La actividad de reuso evita una pérdida de calidad del agua del Río Cauca y a su vez. De acuerdo con un estudio de la Universidad ICESI del año 2009, se necesitarían cerca de \$750 mil millones de pesos colombianos (170.479.575,00 euros) para contrarrestar los daños ambientales ocasionadas al Río Cauca. En el año 2020, la CVC publicó, que para la descontaminación del Río Cauca, serán invertidos \$191.000 millones de pesos colombianos (cerca de 42,6 millones de euros), al hacer una comparación de los valores resultantes con el valor de la contaminación que produce anualmente la EDAR (Tasa Retributiva), la cual es de \$ 19.378.949,75 pesos (4.270,20 euros) y el valor publicado por la Universidad ICESI, se infiere que la EDAR contribuiría en un $1,01 \times 10^{-4} \%$ al crecimiento del coste económico necesario para la descontaminación del Río Cauca.

La CVC (2017) comenta que, anualmente son vertidas 26.385 Ton DBO₅/año sobre el Río Cauca. Teniendo en cuenta la carga contaminante de la EDAR (**Tabla 16**), el reuso evita que sean descargados cerca de 362 Ton/año sobre el Río Cauca. Lo anterior muestra que la EDAR contribuiría en un 0,0035% en el vertimiento de contaminantes sobre dicho afluente.

Por lo ya comentado, la opción de no hacer nada no sería viable. Por lo anterior, se justificaría la inversión e implementación del tratamiento terciario, ya que haría que la calidad del agua tratada de la EDAR sea mucho mayor y que no genere malos olores e impactos negativos sobre el ambiente. El coste del tratamiento podría representar un alto coste para el agricultor de Hacienda La Trinidad, como sector privado, no obstante, podría ser asumido por la CVC, ya que sería rentable para la sociedad del

Valle del Cauca y Colombia tener un ambiente más sano.

Eficiencia en el riego

El uso del efluente bajo un tratamiento terciario, permitiría al agricultor y a la sociedad del Valle del Cauca y Colombia, contar con un recurso hídrico de mayor calidad que el actual. Una implementación de los equipos que componen dicho tratamiento (**Figura 12** y **Figura 13**) hará que la presencia de elementos contaminantes, como sólidos y materia orgánica se vean disminuidos. Desde un punto de vista de la ingeniería de riegos, lo anterior favorecería el normal funcionamiento de sistemas de riegos tecnificados, por ejemplo, de tipo aspersión y goteo. Lo anterior se lograría al reducir las concentraciones de contaminantes, bacterias y sólidos presentes en el agua depurada, los cuales podrían generar obstrucciones y taponamiento, por ejemplo, de tuberías, goteros, bombas y aspersores.

Por otro lugar, ¿Valdría la pena que el agricultor realice la inversión en el tratamiento del agua?, pues bien, como fue mencionado, una implementación del sistema de tratamiento cuidaría el sistema de riego, y que como se verá más adelante, la implementación del mismo aumentaría la oferta de cultivos para ser regados con el efluente, lo cual le brindaría nuevas oportunidades de negocio para la Hacienda, ya que su actual modelo de negocios se basa en la producción de caña de azúcar. Por lo anterior, es posible afirmar que, si valdría la pena el agricultor realizará dicha inversión. Por otra parte, el tratamiento le generaría beneficios también a la sociedad en general, ya que, en un caso, podría ser vertida una calidad de agua mucho mayor sobre el Río Cauca, por tanto, se justificaría que la CVC o cualquier institución pública o privada realice la respectiva inversión.

Aumento de la oferta de cultivos para ser regados

El empleo del tratamiento terciario permitirá que el recurso hídrico sea empleado en otros tipos de sistemas de riegos, por ejemplo, aspersión y goteo. Lo anterior facilitaría un uso del efluente en otros cultivos aparte del actual, que de acuerdo con la norma colombiana 1207 de 2014 para reuso, podrían ser regados cultivos como Tabaco (*Nicotiana Tabacum*), Algodón (*Gossypium hirsutum*), Sorgo (*Sorghum vulgare*), entre otros. Lo anterior tendrá un impacto positivo sobre ecosistemas del lugar, debido a un incremento de biodiversidad, también se suma un ahorro de agua con nuevos regadíos y por tanto una mayor conservación de los recursos naturales.

Aumento de la biodiversidad

La siembra de otros tipos de cultivos incrementará la biodiversidad de la zona, por tanto, se verían beneficiadas las sociedades del municipio de Ginebra, Valle del Cauca y Colombia.

De acuerdo con de Bruyn *et al.*, (2010) y el cálculo de precios ambientales y tomando en cuenta una Fracción de Especies Potencialmente Desaparecidas (FPD), la cual compara la cantidad de especies que deberían estar presentes en un ecosistema dado, con la cantidad real que alberga. Para el caso de estudio se tienen en cuenta el área regada la cual es de 67,72 Ha y un coste inicial propuesto por dicho autor de \$0,845 dólares/ m², de tierra a convertir para mejora de su biodiversidad. Lo anterior da como resultado un valor de \$572,234 USD, es decir \$2'140.412.665,30 pesos colombianos los cuales deberían ser invertidos en el área de estudio en caso de

pérdida de su biodiversidad.

Valor Presente Neto de Beneficios Financieros

El uso de agua tratada para fines de riego conlleva, por lo tanto, varios beneficios financieros, tanto para el agricultor que la utiliza como para la EDAR de Ginebra que la proporciona, como también para el municipio de Ginebra, las sociedades del Valle del Cauca y Colombia. Teniendo en cuenta los beneficios financieros vistos con anterioridad y tomando un período de 20 años con fines ilustrativos y una tasa de descuento del 7,5% (Walker, 2016), el valor actual neto de estos beneficios financieros sería:

a) Beneficio para la EDAR Ginebra por no tener que pagar el impuesto por contaminación de agua (Tasa Retributiva): \$177'049.634,63 pesos colombianos (40.251,8 euros).

b). Beneficio para Hacienda La Trinidad de no tener que comprar fertilizantes para 67, 72 hectáreas: \$352'123.038,37 pesos (80.923,4 euros).

c). Beneficio para la Hacienda La Trinidad por no tener que pagar un costo de energía eléctrica, por bombeo de agua subterránea en épocas de sequía más el arancel correspondiente: \$12'426.446,46 (2.825,2 euros).

d). Beneficio para Hacienda La Trinidad por un no pago de tasa por uso de agua superficial: \$53'769.659,23 pesos (12.224,4 euros).

Los beneficios totales que ofrece el reuso, serán entonces de \$529172673 pesos (118515,11 euros) en condiciones normales y \$595.368.778,7 pesos (135.356,4 euros) en condición de extrema sequía.

Resumen

El **Cuadro 2** muestra un resumen de lo anterior. Los datos están dados para un periodo de un año.

Cuadro 2. Costes y beneficios.

Escenario	Beneficios asociados
Escenario alternativo 0: Vertimiento de aguas residuales sobre el Río Cauca.	La actividad de vertimiento sería realizada, posteriormente al tratamiento del efluente, el caudal tratado de 27 l/s, sería descargado sobre el Río Cauca en su totalidad. La descarga de los efluentes generaría una contaminación sobre el ambiente y el Río Cauca, generando malos olores y perjudicando al ambiente. De acuerdo con los cálculos realizados, diariamente serían vertidos alrededor de 252 kg/día de DBO ₅ y 215 kg/día de SST (Tabla 16) Lo anterior afectaría a la sociedad del Valle del Cauca y Colombia.
Escenario 1: reuso total del efluente en riego de cultivos de caña de azúcar (67,72Ha), bajo	La situación actual de reuso se caracteriza por que el recurso es empleado en 67,72 Ha, lo

<p>sus actuales características fisicoquímicas.</p>	<p>cual genera los siguientes beneficios financieros:</p> <p>Ahorro por no pago de tasa retributiva por un valor de 18'669.725,69 pesos (4.271,04 euros), lo cual beneficia a la empresa de tratamiento de aguas ACUAVALLE S.A.</p> <p>Ahorro por menor uso de fertilizantes por un valor de \$37'131.059,6 pesos (8.441,70 euros).</p> <p>Ahorro por bombeo de aguas \$1'310.357,67 pesos (297,91 euros).</p> <p>Ahorro por uso de agua superficial: \$5.669.962,496 pesos (\$1297,11 euros).</p> <p>Beneficios Sociales</p> <p>Mayor cantidad de fertilizantes:</p> <p>El efluente tratado contiene nutrientes los cuales podrían ser empleados como fertilizantes. Por lo anterior, la sociedad del Valle del Cauca y Colombia.</p> <p>Ahorro en el uso de aguas subterráneas</p> <p>De acuerdo a lo visto con anterioridad, no se realizaría una extracción de 23.280m³ de agua al año (Tabla 15) procedentes de acuíferos y con el fin de ser empleada en riego.</p> <p>Ahorro en el uso de agua superficial</p> <p>La sociedad del municipio de Ginebra, Valle del Cauca y Colombia, pueden beneficiarse de la no extracción de agua del Río Guabas de Ginebra (857.779,2 m³ / año).</p> <p>Conservación del Río Cauca y ambiente</p> <p>Diariamente serian vertidos alrededor de 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST (Tabla 16). La actividad de reuso evita un aumento en la contaminación del Río Cauca.</p>
<p>Costes y beneficios financieros y sociales del</p>	<p>Coste de equipos y energía eléctrica</p>

Escenario 2:	<p>empleada en el tratamiento</p> <p>El coste de los equipos para el tratamiento terciario más el consumo de energía eléctrica es de 5'439.481,5 (1.250,08 euros).</p> <p>Como beneficios sociales, también se incluyen aquellos pertenecientes al escenario 1. Del mismo modo, se incluyen los siguientes:</p> <p>Mejora de la calidad del agua tratada de EDAR</p> <p>La implementación del tratamiento terciario haría que la calidad del agua tratada de la EDAR sea mucho mayor y que no genere malos olores. Se obtienen:</p> <p>Beneficios ambientales positivos, al no ser vertidos 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST tratados de EDAR sobre el Río Cauca; casi 362 Ton/año (Tabla 16).</p> <p>El no pago de la tasa retributiva por valor de 18.669.725,69 pesos (4271,04 euros) contribuiría a no aumentar del coste de descontaminación del Río Cauca el cual para el año 2009 y de acuerdo con la Universidad ICESI, era de \$750.000 millones de pesos colombianos (170.479.575,00 euros).</p> <p>Eficiencia en el riego</p> <p>El uso del efluente bajo un tratamiento adicional o terciario, permitirá al agricultor o a la sociedad de Ginebra, del Valle del Cauca y de Colombia, contar con un recurso hídrico de mejor calidad que la actual, para ser aprovechado en agricultura.</p> <p>Aumento de la variedad de cultivos para ser regados</p> <p>El empleo del tratamiento terciario permitirá que el recurso hídrico sea empleado en otro tipo de cultivos, los</p>
--------------	--

	<p>cuales empleen sistemas de riegos como aspersión y goteo. Cultivos Tabaco (<i>Nicotiana Tabacum</i>), Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>), Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>), entre otros.</p> <p>Aumento de la biodiversidad</p> <p>La siembra de otros tipos de cultivos tendrá efectos positivos en la biodiversidad de la zona, de modo que aumentará la fertilidad de los suelos, por tanto, se verían beneficiadas las sociedades del municipio de Ginebra, Valle del Cauca y Colombia.</p> <p>De acuerdo con de Bruyn <i>et al.</i>, (2010) y la Fracción de Especies Potencialmente Desaparecidas (FPD), para el caso de estudio y sus 67,72 Ha y un coste inicial propuesto por dicho autor de \$0,845 dólares/ m² de tierra a convertir, para mejora de su biodiversidad, se obtiene como resultado un valor de \$572,234 USD, es decir \$2'140.412.665,3 pesos colombianos (483,2 euros).</p>
--	---

Se observan múltiples beneficios financieros y sociales (**Cuadro 2**), tanto para la EDAR, como para el agricultor, como también para la sociedad. Por otra parte, de acuerdo con Duong *et al.*, (2013) en su estudio: “Explorando el potencial de la reutilización de aguas residuales en la agricultura como una medida de adaptación al cambio climático para la ciudad de Can Tho, Vietnam. Los autores concluyen que la reutilización de aguas residuales en el sector agrícola tiene un buen potencial como estrategia de adaptación al cambio climático en la ciudad de CanTho y posiblemente en otras áreas urbanas / periurbanas del MekongDelta. Con base en lo anterior, se infiere que los diferentes beneficios sociales obtenidos en esta investigación (**Cuadro 2**) contribuyen a reducir los impactos negativos sobre el ambiente a la vez que mitigar el cambio climático global.

La investigación desarrollada deja en evidencia la importancia de estudiar casos de reuso de aguas depuradas en agricultura, actividad que puede generar múltiples beneficios financieros, así como disminuir cargas contaminantes sobre afluentes.

6. FUTUROS TEMAS DE INVESTIGACIÓN

Se sugiere realizar otras investigaciones relacionadas con economía de reutilización de aguas depuradas, de Edar de España, ya que es un tema que puede ofrecer una amplia bibliografía a estudiantes interesados en el cuidado y preservación de los recursos hídricos.

Sería interesante realizar análisis de políticas públicas relacionadas con el reuso de aguas residuales y analizar las posibles ventajas y desventajas económicas que podrían estar asociadas con el aprovechamiento de los recursos naturales.

Realizar una estimación económica de la potencialidad del reuso de aguas depuradas de la ciudad de Madrid o de algún municipio de dicha comunidad autónoma.

7.CONCLUSIONES

Las directrices internacionales de USDA (1954), clasifican el agua analizada en este estudio como *C1 – S2*; de buena calidad apta para riego. Los estándares de la FAO (1985), clasifican al efluente tratado con un bajo contenido de sales disueltas y se debe prestar especial atención a la posible generación de un problema de sodicidad, por el uso de este recurso.

El reuso del efluente le genera un ahorro de más de 18 millones de pesos, anuales a ACUAVALLE S.A, por concepto de no pago de tasa retributiva; a la vez que, puede representar un ahorro por más de \$37 millones de pesos, para Hacienda La Trinidad, por concepto de compra de fertilizantes nitrogenados.

El reuso del efluente de la EDAR de Ginebra, en riego de caña de azúcar, estaría evitando la descarga de alrededor de 252 kg/día de DBO5 y 215 kg/día de SST

tratados de EDAR; además, permite ahorrar agua de una fuente hídrica del municipio de Ginebra.

En términos económicos, el reuso permite que el agricultor de Hacienda La Trinidad o la sociedad del Valle del Cauca, obtengan un ahorro por bombeo de agua subterránea, dicho costo tiene un valor de poco más de casi 1,1 millones de pesos colombianos anuales por consumo de energía eléctrica y 232.800 pesos por no pago de tasa de agua subterránea.

El uso de aguas depuradas de la EDAR de Ginebra-Valle, contribuye con la preservación de los recursos naturales del municipio de dicho municipio, ya que evita un uso de agua dulce, por ejemplo, del Río Guabas o una extracción de agua subterránea para fines de irrigación.

La actividad de reuso genera beneficios sociales para las sociedades de Ginebra, Valle del Cauca y Colombia en general, entre ellos se destaca una disminución en la contaminación del Río Cauca, mayor disponibilidad de fertilizantes, disponibilidad de más agua para riego, entre otros.

El uso de aguas depuradas en riego, representa una alternativa de bajo coste económico, si se la compara con emplear agua de una fuente hídrica o extraer agua de un acuífero, a la vez que representa un recurso que podría ser valioso en situaciones de extrema sequía.

8.BIBLIOGRAFIA

ACUAVALLE S.A. 2017. Reporte de datos oficiales de PTAR Ginebra. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (1975). Análisis de rentabilidad de la reutilización de aguas residuales municipales. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20016GXT.TXT>. [25 de marzo de 2020].

Alfaro, D. (2015). Estudio del impacto ambiental generado por vertimientos provenientes de un establecimiento penitenciario de orden nacional al recurso hídrico. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6463/1/articulo%20especializacion%20final.pdf>. [17 de agosto de 2020].

Akpor O. B. (2011). Descarga de efluentes de aguas residuales: efectos y procesos de tratamiento. Disponible en: <http://ipcbec.com/vol20/16-ICBEE2011E20001.pdf>. [25

de marzo de 2020].

Asano, T., Kontos, N. (1997). Evaluación ambiental para proyectos de recuperación y reutilización de aguas residuales. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0273122396004507>. [24 de marzo de 2020].

Asociación de Usuarios del Río Guabas. (2019). Coste de tarifas del servicio de distribución de agua de riego – Ginebra Valle. [10 de septiembre de 2020].

CENICAÑA. (Sin fecha). Riegos. Disponible en: https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriadados/libro_el_cultivo_cana/libro_p193-210.pdf. [9 de septiembre de 2020].

Cisneros, B., Drechsel, P., Kim, Y., Mehta, P., Olaniyan, O., Pramanik, A., Qadir, M. (2019). Potencial global y regional de aguas residuales como agua, nutrientes y energía. [online]. Disponible en: 7. [20 de febrero de 2020].

Comisión Europea. (2018). Reglamento del parlamento europeo y del consejo relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. Disponible en: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/ES/COM-2018-337-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>. [16 de marzo de 2020].

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Recuperado de http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf.

CVC. (2017). Bases de datos de registros fisicoquímicos de la calidad del agua – EDAR de Ginebra Valle. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/20180/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf. [10 de septiembre de 2020].

CVC. (2017). Evaluación Regional del Agua, Valle del Cauca -2017. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/20180/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf. [10 de septiembre de 2020].

CVC. (2017). Evaluación Regional del Agua, Valle del Cauca -2017. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/20180/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf. [10 de septiembre de 2020].

CVC. (2019). Tasas por usos de agua superficial y subterránea. Disponible en: <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-06/022.pdf>. [11 de septiembre de 2020].

CVC. (2020). No solo Buga, sino también Jamundí podrá descontaminar sus aguas, gracias a vigencias futuras de la CVC. Disponible en: <https://www.cvc.gov.co/2020200>. [1 de septiembre de 2020].

de Bruyn, S., Korteland, M., Markowska, A., Davidson, M., de Jong, F., Bles, M. and Sevenster, m. (2010). Manual de precios sombra: valoración y ponderación de emisiones e impactos ambientales. Delft, CE Delft.

DANE .2019. Información Componente Insumos – junio de 2020. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Anexos_Insumos_jun_2019.xlsx. [12 de septiembre de 2020].

Dijk, V., Liang, x. (2012). Análisis de costo-beneficio de los sistemas centralizados de reutilización de aguas residuales. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258434948_5_Liang_X_and_Van_Dijk_M_P_2012Cost_benefit_analysis_of_centralized_waste_water_reuse_systems_In_Journal_of_Benefit-Cost_Analysis_Vol_3_3_Article_5_doi_1015152152-28121060_pp_1-28

Duong, C., Lens, P., Trinh, L., Van Der Steen, P. (2013). Exploración del potencial uso de aguas residuales en agricultura como una medida de adaptación al cambio climático para la ciudad de Can Tho, Vietnam. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377413001479>. [14 de marzo de 2020].

EMPRESA DE ENERGIA DEL PACIFICO S.A. E.S.P –EPSA. (2019). INFORMACIÓN SOBRE TARIFAS. Tarifa de energía eléctrica para el mes de junio de 2019. Disponible en: https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/Tarifas%20EPSA%20junio_2019.pdf. [13 de septiembre de 2020].

FAO. (2010). El uso seguro de aguas residuales en agricultura ofrece múltiples beneficios. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/en/item/44899/icode/>. [15 de marzo de 2020].

FAO. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficio para todos? Disponible en <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>. [14 de marzo de 2020].

Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Lee, A Joyce, B., Kan, I, Reznik, Ami. (2017). Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/578101761b631b1a87aa0a3c/t/5a9f2928c830252adbafd96c/1520380202206/Economic+implications+of+agricultural+reuse+of+treated+wastewater+in.pdf>. [15 de marzo de 2020].

Galvis, A., Gijzen, H.J., Jaramillo, M.F., van der Steen. P. (2018). Aspectos financieros del reuso de aguas residuales en tres casos de producción de caña de azúcar en la cuenca alta del Río Cauca. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418310667>. [11 de septiembre de 2020].

Gandarillas, j. (2016). Lagunaje. Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/46763/download?token=kEwNNF9l#:~:text=El%20tratamiento%20por%20lagunaje%20de,heter%C3%B3trofas%20presentes%20en%20el%20medio>. [11 de septiembre de 2020].

García, J., Tascon, D. 2007. Evaluación del efecto de la calidad de tres tipos de agua en un cultivo de caña de azúcar. Tesis de pregrado no publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 101 Págs. [15 de marzo de 2020].

Garrido, S., Sancho, F., Senantes, M. (2010). Viabilidad económica de la Reutilización de aguas residuales: Valoración Económica de los Beneficios Ambientales. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6002506>. [22 de agosto de 2020].

Garnica, J., Izar, J., Ynzunza, C. (2017). Determinación de la Vida Económica de un Equipo. Análisis de Sensibilidad de las Variables Intervinientes. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6407911.pdf>. [12 de septiembre de 2020].

Grundmann, P., Maab, O. (2017). La reutilización de aguas residuales para hacer frente a la escasez de agua y nutrientes en Agricultura: un estudio de caso para Brunswick en Alemania. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032374000203>. [15 de marzo de 2020].

Hao, X., Jiang, H., Liu, R., Li, S., Van Loosdrecht. (2019). Impactos ambientales de la recuperación de recursos de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333373968_Environmental_impacts_of_resource_recovery_from_wastewater_treatment_plants. [25 de marzo de 2020].

Haruvy, N. (1997). Reutilización agrícola de aguas residuales: análisis de costo-beneficio a nivel nacional. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880997000467>. [14 de marzo de 2020].

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera – IFAPA. (2012). Gestión Sostenible de la Reutilización de Aguas Residuales Urbanas en los Cultivos Hortícolas. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/contenidoAlf?id=e2ab741b-5dcc-43e2-b9b0-645b5372efca>. [14 de marzo de 2020].

Jaramillo, M., Tarquino, I. (2017). Reutilización de aguas residuales en la agricultura: una revisión sobre sus limitaciones y Beneficios. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/320597312_Wastewater_Reuse_in_Agriculture_A_Review_about_Its_Limitations_and_Benefits/link/5a2035daaca2721426347659/download. [15 de marzo de 2020].

Lozano, G. (Sin fecha). Evaluación Ambiental del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Ginebra. Trabajo no publicado, desarrollado en el marco del proyecto Estrategias para la recuperación y manejo integrado del recurso hídrico en las cuencas del Cauca y Dagua en el Valle del Cauca.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presntaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf. [3 de agosto de 2020].

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Resolución número 1207 de 2014 (julio 25) por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Recuperado de:

<http://www.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Resolucion1207AguasResidualesTratadas.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2016. 12 págs.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales. Recuperado de: <http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>. [3 de abril de 2020].

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2019). Tarifas mínimas de tasas retributivas por vertimientos a cuerpos de aguas superficiales. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/tasa_por_agua/Tarifas_Mnimas_Tasas_Ambientales__vertimientos_puntuales_2019-_TRVP.pdf. [11 de septiembre de 2020].

Puerta, A. 2008. Evaluación de los efectos del agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo como fuente alterna de riego en el cultivo de caña de azúcar. Tesis de pregrado no publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. [16 de marzo de 2020].

Quintero, R. 1995. Fertilización y Nutrición de caña de azúcar. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241259/El_cultivo_de_la_ca_a._Fertilizaci_n_y_nutrici_n.pdf. [15 de marzo de 2020].

Universidad ICESI. (2009). A orillas del Rio Cauca. Disponible en: <https://www.icesi.edu.co/blogs/casoriocauca/>. [28/08/2020].

UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>. [15 de marzo de 2020].

Van Dijk, P., Ligan, X. (2012). Análisis de costo beneficio de los sistemas centralizados de aguas residuales. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303520705_Cost_Benefit_Analysis_of_Centralized_Wastewater_Reuse_Systems. [25 de marzo de 2020].

Walker, E. (2016). Costo del capital en los mercados emergentes: superando las brechas entre la teoría y la práctica. Revista Latinoamericana de Economía, 53 (1). <http://dx.doi.org/10.7764/LAJE.53.1.111>.

WIS. (2020). Coste de tratamiento terciario para agua depurada. [17 de julio de 2020].

9.ANEXOS

ANEXO A. Informes de laboratorios

Resultados de la solicitud de análisis O2017-7

CIAT 50
1961 - 2011

Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: Q2017-7
Procedencia: PTAR GINEBRA

Fecha de muestreo: 5/2/2017
Fecha recepción de muestras: 5/2/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: CEL-3154767955
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro


TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH	CE	N-Total	P	K	Ca	Mg	Na	SO4	N-NO3	CO3	HCO3	DUR	ALC
1	ENTRADA LAGUNA ANAERÓBIA	6.65	927	32.5	10.4	15.5	24.4	12.7	79.04	16.1	0.128	< LCM	2355	113	2355
2	SALIDA LAGUNA ANAERÓBIA	6.91	885	26.3	6.32	10.5	25.6	11.07	51.8	28.2	0.103	< LCM	1899	110	1899
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	7.01	773	12.3	8.80	11.3	24.9	11.1	49.8	40.9	0.0730	< LCM	1912	108	1912

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestras de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:



Dayron Guillermez
Ingeniero de Alimentos / Tecnología Química
E-mail: ocal.laboratorio@qgiar.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira.

Prohibida su modificación total o parcial

Resultados de la solicitud de análisis O2017-8

CIAT 50
1961 - 2011

Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: Q2017-8
Procedencia: PTAR GINEBRA VALLE DEL CAUCA

Fecha de muestreo: 5/5/2017
Fecha recepción de muestras: 5/5/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: Jorge Irochez@correounivalle.edu.co
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro


TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH	CE	N-Total	P	K	Ca	Mg	Na	SO4	N-NO3	CO3	HCO3	DUR	ALC	N-NO3
1	ENTRADA DE LAGUNA ANAERÓBIA	7.25	1184	35.1	11.3	17.4	23.4	12.8	66.5	16.4	< LCM	2036	112	2036	0.0561	
2	SALIDA DE LA LAGUNA ANAERÓBIA	6.96	943	40.7	8.05	13.5	24.9	12.8	53.4	34.8	< LCM	210	115	210	0.0540	
3	SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIV A	7.06	912	35.5	8.39	13.4	25.0	11.5	52.5	46.5	< LCM	2331	110	2331	0.0870	

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestras de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:



Dayron Guillermez
Ingeniero de Alimentos / Tecnología Química
E-mail: ocal.laboratorio@qgiar.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira.

Prohibida su modificación total o parcial



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE

Fecha de muestreo: 5/10/2017

Observaciones: CEL3187959347

Número serial: Q2017-9

Fecha recepción de muestras: 5/10/2017

Número de muestras: 3

Procedencia: PTAR GINEBRA-VALLE DEL CAUCA

Entrega de resultados: 6/23/2017

Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N (g/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR (mg/L)	ALC (mg/L)
1	ENTRADA DE LAGUNA ANAERÓBIA	6.92	866	32.0	7.42	12.6	29.0	10.4	43.5	19.5	0.328	< LCM	2123	115	2123
2	SALIDA DE LAGUNA ANAERÓBIA	6.75	852	31.8	6.40	9.95	29.03	9.84	24.3	44.9	0.0560	< LCM	1811	113	1811
3	SALIDA DE LAGUNA FACULTATIV A	6.91	806	15.98	6.10	12.2	29.0	10.1	39.01	50.5	0.0660	< LCM	1989	114	1989

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Gutierrez

Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.servicios@igap.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira

Prohibida su modificación total o parcial



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE

Fecha de muestreo: 5/15/2017

Observaciones: JORGE TROCHEZ B

Número serial: Q2017-11

Fecha recepción de muestras: 5/15/2017

Número de muestras: 3

Procedencia: PTAR GINEBRA

Entrega de resultados: 6/23/2017

Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR (mg/L)	ALC (mg/L)
1	ENTRADA LAGUNA ANAERÓBIA	6.39	946	35.8	7.30	13.3	23.0	9.60	72.7	117	0.0326	< LCM	1762	96.9	1762
2	SALIDA LAGUNA ANAERÓBIA	6.86	1020	46.6	6.46	13.9	26.4	10.2	52.0	94.2	0.0160	< LCM	2154	113	2154
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	6.95	928	39.9	7.49	13.6	32.8	10.3	44.7	27.3	0.0309	< LCM	2169	125	2169

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Gutierrez

Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.servicios@igap.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira

Prohibida su modificación total o parcial



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE/JORGE
TROCHEZ
Número serial: O2017-14
Procedencia: PTAR- GINEBRA-VALLE

Fecha de muestreo: 5/25/2017
Fecha recepción de muestras: 5/25/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: CEL-318789347
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P-Total (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	ALC (mg/L)	DUR. (mg/L)
1	ENTRADA LAGUNA ANAERÓBIA	6.74	852	35.2	13.2	12.7	33.7	9.28	71.2	141	0.177	< LCM	2201	2201	122
2	SALIDA LAGUNA ANAERÓBIA	6.83	995	31.2	9.45	13.8	29.9	11.0	53.8	82.2	0.0620	< LCM	2850	2850	120
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	7.15	986	32.3	9.12	15.3	29.1	11.5	56.4	78.1	0.0900	< LCM	2623	2623	120

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestras de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Guillerme
Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.laboranalitico@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Determinación	Método
pH	pH
CE (us/cm)	Cond. Eléctrica
N-Total (g/kg)	Nitrogeno Total
P Total (%)	Fosforo Total
K (mg/L)	Potasio
Ca (mg/L)	Calcio
Mg (mg/L)	Magnesio
Na (mg/L)	Sodio
SO4 (mg/L)	Sulfato
N-NO3 (mg/L)	Nitrato
CO3 (mg/L)	Carbonatos
HCO3 (mg/L)	Bicarbonatos
ALC (mg/L)	Alcalinidad
DUR. (mg/L)	Dureza

FIN DEL INFORME



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Número serial: S2017-38
 Procedencia: GINEBRA

Fecha de muestreo: 3/1/2017
 Fecha recepción de muestras: 3/3/2017
 Entrega de resultados: 3/24/2017

Observaciones: CEL3187959347
 Número de muestras: 7
 Tipo de análisis: Suelo

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (Un)	P-Brayl (mg/kg)	MO (g/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	CIC (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
1	HACIENDA LA TRINIDAD	6.32	39.09	40.5	15.4	7.85	0.153	0.245	27.5	15.1	1.27	6.50	86.7	1.27	37.7
2	HACIENDA LA TRINIDAD	6.57	23.4	40.1	15.5	11.5	0.751	0.227	32.4	29.3	1.44	2.35	66.7	1.84	42.5
3	HACIENDA LA TRINIDAD	6.39	22.8	39.0	14.4	9.61	0.566	0.230	26.2	19.5	1.32	2.32	79.0	1.67	43.6
4	HACIENDA LA TRINIDAD	6.44	29.6	32.4	14.4	10.02	0.520	0.221	31.2	15.7	0.904	2.07	55.0	1.52	39.8
5	HACIENDA LA TRINIDAD	6.25	26.7	30.7	10.5	7.51	0.457	0.204	26.2	52.6	1.03	1.81	124	1.23	60.7
6	HACIENDA LA TRINIDAD	6.55	30.3	36.2	13.3	9.39	0.486	0.186	27.6	18.6	1.03	2.90	80.4	1.04	35.3
7	HACIENDA LA TRINIDAD	6.47	24.7	32.2	12.5	11.6	0.431	0.235	31.6	13.4	0.751	1.26	61.7	1.34	35.3

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestras de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

María del Pilar Hurtado Sánchez, Químico, MSc
 Jefe del Laboratorio de Servicios Analíticos y Laboratorio
 Central de Aguas
 E-mail: m.p.hurtado@ciat.org
 Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Determinación	Método
pH (Un)	pH Agua 1:1
P-Brayl (mg/kg)	Fuelero Bray II Espectrométrica
MO (g/kg)	Molera Orgánica Walkley Black Espectrométrica
Ca (cmol/kg)	Calcio Intercambiable (Ab. Al.)
Mg (cmol/kg)	Magnesio Intercambiable Ab. Al.
Na (cmol/kg)	Sodio Intercambiable Ab. Al.
K (cmol/kg)	Potasio Intercambiable Ab. Al.
CIC (cmol/kg)	Capacidad Int. Catiónica (Amorfo Acetato) Volumal.
Fe (mg/kg)	Hierro Extract. Doble Ácido Ab. Al.
Cu (mg/kg)	Cobre Extract. Doble Ácido Ab. Al.
Zn (mg/kg)	Zinc Extract. en Doble Ácido Ab. Al.
Mn (mg/kg)	Manganeso Extract. doble Ácido Ab. Al.
B (mg/kg)	Boro en Agua Caliente (Espectromet. Azomolina)
S (mg/kg)	Azufre Extractable (Fuelero Cr.) Turbidimétrica

FIN DEL INFORME



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: FUNDACION UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Número serial: S2017-73
 Procedencia: GINEBRA

Fecha de muestreo: 4/24/2017
 Fecha recepción de muestras: 4/24/2017
 Entrega de resultados: 5/23/2017

Observaciones: COMPLEMENTO S-38-2017
 Número de muestras: 7
 Tipo de análisis: Suelo

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	N (%)	CE (uS/cm)
1	MUESTRA # 1	0.180	158
2	MUESTRA # 2	0.180	323
3	MUESTRA # 3	0.180	173
4	MUESTRA # 4	0.180	292
5	MUESTRA # 5	0.140	132
6	MUESTRA # 6	0.110	203
7	MUESTRA # 7	0.120	210

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Maria del Pilar Hurtado Sánchez

Maria del Pilar Hurtado Sánchez, Química, MSc
 Jefe del Laboratorio de Servicios Analíticos y Laboratorio
 Central de Aguas
 E-mail: m.p.hurtado@upvalle.org
 Tel: (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Determinación	Método
N (%)	Nitrógeno Total
CE (uS/cm)	Conductividad Eléctrica (Pasta Sal.)

FIN DEL INFORME

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE	FORMATO Versión: 1.0 Código: F-1. 3.03.01 Página: 1 de 1
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona	Revisado por: Noel Muñoz Soto
Aprobado por: Director General	
FECHA (dd.mm.aaaa): 13.05.2017	N° 0382

Código interno de la muestra: MF-ADI-0382-17		Fecha de recepción: 02.05.2017
Fecha de muestreo: 02.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 02.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	525	147	177
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	60	37	43
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	63000000	9700000	7200000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,8	6,99	6,86
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	26000000	6300000	2800000
Coliformes Fecales (Unidad Log de)	Filtración	7,4	6,80	6,4
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0


1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.

Yusef Benítez
 COORDINADOR DEL LABORATORIO

Daniela López R.
 ANALISTA MICROBIOLÓGICO

Carsten I. Castañeda
 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488
 Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA		LABORATORIO DE FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Página: 1 de 1	
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0396
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0396-17		Fecha de recepción: 05.05.2017
Fecha de muestreo: 05.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 05.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DOO (mg/L)	Reflujo	561	258	208
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	50	223	197
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	20000000	9400000	5300000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,3	6,97	6,72
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	17000000	5400000	1500000
Coliformes Fecales (Unidad Log de)	Filtración	7,2	6,73	6,2
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
 2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO



 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA

Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Matarino

Teléfono: 862 9605 - Telefax: 862 9488

Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA		LABORATORIO DE FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Página: 1 de 1	
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0411
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0411-17		Fecha de recepción: 10.05.2017
Fecha de muestreo: 10.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 10.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DOO (mg/L)	Reflujo	287	247	131
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	50	48	123
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	23000000	5300000	3200000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,4	6,72	6,51
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	19000000	4000000	2900000
Coliformes Fecales (Unidad Log de)	Filtración	7,3	6,60	6,5
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
 2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO



 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA

Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Matarino

Teléfono: 862 9605 - Telefax: 862 9488

Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA		LABORATORIO DE FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Página: 1 de 1	
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0444
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0444-17		Fecha de recepción: 15.05.2017
Fecha de muestreo: 15.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 15.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	551	241	218
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	177	143	67
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	5400000	830000	420000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	6,7	5,92	5,62
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	300000	580000	13200
Coliformes Fecales (Unidad Logs de)	Filtración	5,5	5,76	4,1
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

Digital: Andrés Vargas

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.



 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488

Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA		LABORATORIO DE FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		Página: 1 de 1	
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0494
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0494-17		Fecha de recepción: 25.05.2017
Fecha de muestreo: 25.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 25.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	569	236	206
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	100	70	27
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	4,80E+07	7,70E+07	1,22E+07
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,7	7,69	7,09
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	6,60E+07	1,80E+07	8,20E+05
Coliformes Fecales (Unidad Logs de)	Filtración	7,8	7,26	5,9
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

Digital: Andrés Vargas

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO

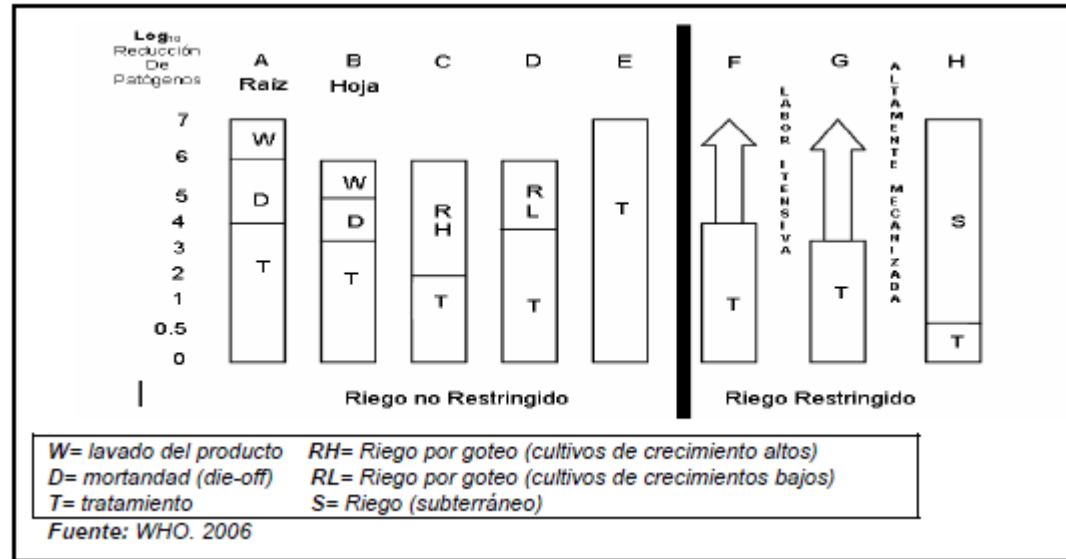

 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488

Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

ANEXO B. Opciones para la reducción de patógenos virales, bacteriales y protozoarios.



Fuente: WHO (2006) citado por García y Tascon (2007).